



TUGAS AKHIR - RE 141581

**KAJIAN EFEK AERASI PADA KINERJA BIOFILTER
AEROB DENGAN MEDIA BIOBALL UNTUK
PENGOLAHAN AIR LIMBAH BUDIDAYA TAMBAK
UDANG**

**BELLIA MAHARANI BASTOM
3311100016**

**DOSEN PEMBIMBING
Prof. Ir. JONI HERMANA, MSc.ES, Ph.D**

**DOSEN CO-PEMBIMBING
Ir. AGUS SLAMET, M.Sc**

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



FINAL PROJECT - RE 141581

**STUDY OF AERATION EFFECTS IN AEROBIC
BIOFILTER PERFORMANCE USING BIOBALL
MEDIA FOR SHRIMP POND WASTE WATER
TREATMENT**

**BELLIA MAHARANI BASTOM
3311100016**

**SUPERVISOR
Prof. Ir. JONI HERMANA, MSc.ES, Ph.D**

**CO-SUPERVISOR
Ir. AGUS SLAMET, M.Sc**

**DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**

**KAJIAN EFEK AERASI PADA KINERJA BIOFILTER AEROB
DENGAN MEDIA BIOBALL UNTUK PENGOLAHAN AIR LIMBAH
BUDIDAYA TAMBAK UDANG**

TUGAS AKHIR

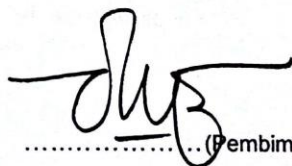
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

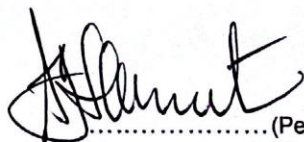
BELLIA MAHARANI BASTOM
NRP. 3311 100 016

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. Prof. Ir. Joni Hermana, MSc.ES., Ph.D.
NIP. 19600618 198803 1 002


..... (Pembimbing I)

2. Ir. Agus Slamet, Dipl.SE., M.Sc.
NIP. 19590811 198701 1 001


..... (Pembimbing II)



KAJIAN EFEK AERASI PADA KINERJA BIOFILTER AEROB DENGAN MEDIA BIOBALL UNTUK PENGOLAHAN AIR LIMBAH BUDIDAYA TAMBAK UDANG

Nama : Bellia Maharani Bastom
NRP : 3311100016
Dosen Pembimbing : Prof. Joni Hermana, MSc.ES, Ph.D

ABSTRAK

Limbah budidaya tambak udang memiliki karakteristik dimana pH, amonia, fosfor, BOD_5 dan TSS lebih tinggi sementara konsentrasi DO lebih rendah dari perairan sekitar. Bahan kontaminan terakumulasi didalam sedimen perairan yang mengakibatkan peningkatan kadar nitrogen, hidrogen sulfida, penipisan oksigen dan meningkatkan populasi bakteri. Salah satu pengolahan limbah secara biologis yang dapat digunakan dalam mereduksi polutan adalah menggunakan biofilter aerob dengan media bioball. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dan menganalisis efisiensi penyisihan BOD, COD, Ammonia, Nitrat, Fosfat, dan peningkatan DO dan pengaruh suhu dalam air limbah budidaya tambak udang setelah melalui reaktor biofilter.

Variasi yang dilakukan adalah tinggi media biofilter serta proses dengan sistem aerasi 48 jam dan aerasi intermitten 12 jam. Tinggi media filter yang digunakan dalam reaktor adalah 30 cm, 40 cm, dan 50 cm. Variasi ini dilakukan agar dapat membandingkan efisiensi dan kinerja dari masing - masing biofilter tersebut.

Setelah dilakukan *running* reaktor didapatkan hasil untuk analisis pengaruh variasi tinggi dengan sistem aerasi pada *running* 1 dan *running* 2 ini dapat disimpulkan bahwa penyisihan polutan air limbah dimana parameter yang diuji yakni COD, BOD, Amonia, Nitrat, dan DO didapatkan hasil bahwa tidak ada beda dalam perlakuan variasi tinggi media tetapi ada beda pada perlakuan variasi sistem aerasi sementara itu untuk parameter PO_4^{3-} didapatkan hasil tidak ada beda dalam perlakuan variasi tinggi media maupun sistem aerasi. Untuk parameter yang diuji, limbah budidaya tambak udang sudah memenuhi baku mutu dengan konsentrasi removal tertinggi yang didapat yakni BOD_5 15 mg/l, NH_3 0,09 mg/l, NO_3 0.81 mg/l, sementara itu untuk COD yakni 33.78 mg/l dan peningkatan tertinggi DO 5.5 mg/l. Tetapi untuk parameter PO_4^{3-} masih melebihi baku mutu air limbah yang akan dibuang ke badan air terdekat yakni Kali Lamong dengan konsentrasi 0.78 mg/l.

Kata Kunci : Bioball, Biofilter Aerob, Limbah Budidaya Tambak Udang

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

STUDY OF AERATION EFFECTS IN AEROBIC BIOFILTER PERFORMANCE USING BIOBALL MEDIA FOR SHRIMP POND WASTE WATER TREATMENT

Name : Bellia Maharani Bastom
NRP : 3311100016
Supervisor : Prof. Joni Hermana, MSc.ES, Ph.D.

ABSTRACT

The wastes of shrimp pond have characteristics where the pH, ammonia, phosphorus, BOD₅ and TSS are higher, while DO concentration is lower than surrounding waters. Contaminants accumulate in aquatic sediments which cause increasing levels of nitrogen, hydrogen sulfide, and oxygen depletion and increasing the population of bacteria. Aerobic bio filter by using bio ball media is one of biological wastewater treatment method which is able to reduce pollutants. This research aims to assess and analyze the removal efficiency of BOD₅, COD, Ammonia, Nitrate, Phosphate, and increasing DO effects in shrimp pond waste water going through the biofilter reactor.

This biofilter reactor is designed with varied levels of bioball which are the levels of biofilter media. This reactor is also supported by 48 hours of aeration system and 12 hours of intermittent aeration. High filter media used in the reactor are 30 cm, 40 cm, and 50 cm. These variations are created to compare the efficiency and performance of each aerobic biofilter reactor.

After running the reactor and do the analysis about the effect of levels media variation and aeration system on the first running and the second running of this research, it can be concluded that for tested waste water pollutants parameters including COD, BOD, Ammonia, Nitrate, and Phosphate, it shows no different in media high variation, while there is different in aeration system variation. Meanwhile, for parameter PO₄³⁻, the result is that there is no difference for both media high variation and aeration system. For the parameters tested, shrimp pond waste water already met the standard with the highest concentration obtained removal of BOD₅ 15 mg/l, NH₃ 0.09 mg/l, NO₃ 0.81 mg/l, while that for COD that is 33.78 mg/l and DO highest increase is 5.5 mg/l. However, for PO₄³⁻ parameter, it still exceeds the quality of waste water to be discharged into the outfall with the concentration of the Lamong River showed in 0.78 mg/l.

Keywords: Aerobic Biofilter , Bioball, , Waste of Shrimp Pond

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur penyusun panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, berkah, dan hidayah-Nya, sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan tepat waktu. Tugas akhir dengan judul **“Kajian Efek Aerasi Pada Kinerja Biofilter Aerob Dengan Media Bioball Untuk Pengolahan Air Limbah Budidaya Tambak Udang”** dibuat sebagai persyaratan kelulusan pada Jurusan Teknik Lingkungan. Dalam penyusunan laporan kemajuan tugas akhir ini, penyusun menyampaikan terima kasih kepada:

1. Keluarga Papa, Mama, Bapak, Ibu, Mbak Dita, Mas Inggi, Adek Bella, Adek Dirga, dan Kakek Djatim atas do'a dan dukungan moral yang diberikan.
2. Bapak Prof. Ir. Joni Hermana, MSc.ES., Ph.D. selaku dosen pembimbing dan Bapak Ir. Agus Slamet, Dipl.SE., M.Sc. selaku dosen co-pembimbing yang telah banyak memberikan arahan dan saran dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Ali Masduqi, ST., MT., Ibu Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., Ph.D., Ibu Harmin Sulistyning Titah, ST., MT., Ph.D. selaku dosen penguji atas masukan serta saran-saran yang telah diberikan.
4. Bapak Ir. Didik Supriyadi, MT. selaku dosen wali atas dukungan dan nasehatnya serta bapak-ibu dosen Teknik Lingkungan yang dengan senang hati mengajari saya di dalam maupun di luar jam kuliah.
5. Bapak Iwan selaku petambak udang *vannamei* di Desa Cerme, Kabupaten Gresik atas ketersediaannya memberikan fasilitas guna menunjang penyelesaian tugas akhir saya.
6. Teman-teman Teknik Lingkungan angkatan 2011 dan senior yang selalu membantu dan memberi semangat serta dukungan.

Penyusunan laporan kemajuan tugas akhir ini telah diusahakan semaksimal mungkin, namun sebagaimana manusia biasa tentunya masih terdapat kesalahan. Untuk itu, kritik dan saran yang membangun sangat penyusun harapkan.

Wassalamu 'alaikum Wr. Wb.

Surabaya, 13 Juli 2015

Penyusun

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Ruang Lingkup Penelitian.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Kegiatan Tambak Udang.....	7
2.1.1 Budidaya Tambak Udang.....	5
2.1.2 Limbah Budidaya Tambak Udang.....	12
2.2 Proses Pengolahan Air Limbah Secara Biologis.....	10
2.3 Biofilm.....	14
2.4 Biofilter.....	18
2.4.1 Media Biofilter.....	12
2.4.2 Bioball.....	20
2.4.3 Prinsip Pengolahan Air Limbah dengan Sistem Biakan Melekat.....	22
2.5 Biological Aerated Filter (BAF).....	26
2.6 Pengaruh Tinggi Media Filter.....	27
2.7 Pengaruh Aerasi pada Biofilter.....	28
2.8 Kebutuhan Oksigen Kimia (COD).....	29
2.9 Kebutuhan Oksigen Biokimiawi (BOD ₅).....	30
2.10 Oksigen Terlarut (<i>Dissolved Oxygen</i>).....	31
2.11 Ammonia.....	33
2.12 Nitrit.....	34
2.13 Nitrat.....	35
2.14 Ortofosfat.....	36
2.15 Suhu.....	37
2.16 pH.....	38
2.17 Penelitian Terdahulu.....	38
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	41
3.1 Kerangka Penelitian.....	41

3.2	Langkah Penelitian.....	42
3.2.1	Ide Penelitian dan Studi Literatur.....	42
3.2.2	Variabel dan Parameter Penelitian.....	43
3.2.3	Persiapan Alat dan Bahan.....	44
3.2.4	Penelitian Pendahuluan dan Pembuatan Reaktor.....	45
3.2.5	Aklimatisasi dan Seeding.....	46
3.2.6	Pengoperasian Reaktor.....	48
3.2.7	Hasil dan Pembahasan.....	50
3.3	Lokasi Penelitian.....	53
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	55
4.1	Pengujian Waktu Tinggal Reaktor.....	55
4.2	Uji Pendahuluan.....	55
4.3	Tracer.....	57
4.4	<i>Seeding</i> dan Aklimatisasi.....	58
4.5	Hasil Penurunan Konsentrasi Zat Organik.....	60
4.5.1	Penurunan Konsentrasi PV.....	60
4.5.2	Penurunan Konsentrasi COD.....	71
4.5.3	Penurunan Konsentrasi BOD.....	79
4.6	Hasil Penurunan Konsentrasi Nutrient.....	84
4.6.1	Penurunan Konsentrasi Phospat.....	84
4.6.2	Penurunan Konsentrasi Ammonia.....	90
4.6.3	Penurunan Konsentrasi Nitrat.....	95
4.7	Peningkatan Konsentrasi DO.....	102
4.8	pH.....	109
4.9	Suhu.....	112
4.10	Perbandingan Rasio BOD : COD.....	112
4.11	Perbandingan Rasio COD : N : P.....	116
4.12	Hasil Anova <i>Two Way</i>	118
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN.....	127
5.1	Kesimpulan.....	127
5.2	Saran.....	128
	DAFTAR PUSTAKA.....	129
	LAMPIRAN A.....	133
	LAMPIRAN B.....	141
	LAMPIRAN C.....	159
	LAMPIRAN D.....	169
	BIOGRAFI PENULIS.....	171

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Baku Mutu Efluen Tambak Udang.....	10
Tabel 2.2 Perbandingan Luas Permukaan Biofilter.....	20
Tabel 2.3 Hubungan Konsentrasi Ammonia Bebas dan Ammonia Total terhadap Suhu dan pH.....	34
Tabel 3.1 Variasi Reaktor Berdasarkan Variabel Penelitian	44
Tabel 4.1 Hasil Uji Pendahuluan Air Limbah	56
Tabel 4.2 Tahapan Aklimatisasi.....	59
Table 4.3 Uji Anova Penyisihan PV.....	64
Table 4.4 Uji Duncan Penyisihan PV.....	65
Table 4.5 Uji Anova Penyisihan PV.....	67
Table 4.6 Rasio Konsentrasi Rata – Rata BOD:COD Reaktor A.....	113
Table 4.7 Rasio Konsentrasi Rata – Rata BOD:COD Reaktor B.....	113
Table 4.8 Rasio Konsentrasi Rata – Rata BOD:COD Reaktor C.....	113
Table 4.9 Rasio Konsentrasi Pada Removal Tertinggi BOD:COD Reaktor A.....	113
Table 4.10 Rasio Konsentrasi Pada Removal Tertinggi BOD:COD Reaktor A.....	114
Table 4.11 Rasio Konsentrasi Pada Removal Tertinggi BOD:COD Reaktor A.....	114
Table 4.12 Rasio Konsentrasi Pada Removal Terendah BOD:COD Reaktor A.....	114
Table 4.13 Rasio Konsentrasi Pada Removal Terendah BOD:COD Reaktor B.....	114
Table 4.14 Rasio Konsentrasi Pada Removal Terendah BOD:COD Reaktor C.....	114
Table 4.15 Rasio Konsentrasi Rata – Rata BOD:COD Reaktor A.....	115
Table 4.16 Rasio Konsentrasi Rata – Rata BOD:COD Reaktor B.....	115
Table 4.17 Rasio konsentrasi Rata – Rata BOD:COD Reaktor C.....	115
Table 4.18 Rasio Konsentrasi Pada Removal Tertinggi BOD:COD Reaktor A.....	115
Table 4.19 Rasio Konsentrasi Pada Removal Tertinggi BOD:COD Reaktor A.....	115

Table 4.20 Rasio Konsentrasi Pada Removal Tertinggi BOD:COD Reaktor A.....	115
Table 4.21 Rasio Konsentrasi Pada Removal Terendah BOD:COD Reaktor A.....	116
Table 4.22 Rasio Konsentrasi Pada Removal Terendah BOD:COD Reaktor B.....	116
Table 4.23 Rasio Konsentrasi Pada Removal Terendah BOD:COD Reaktor C.....	116
Table 4.24 Uji Anova Penyisihan Parameter COD.....	118
Table 4.25 Uji Anova Penyisihan Parameter BOD ₅	120
Table 4.26 Uji Anova Penyisihan Parameter PO ₄ ³⁻	121
Table 4.27 Uji Anova Penyisihan Parameter NH ₃	123
Table 4.28 Uji Anova Penyisihan Parameter NO ₃	124
Table 4.29 Uji Anova Penyisihan Parameter DO.....	126

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perkembangan Biofilm.....	16
Gambar 2.2 Bioball yang Digunakan Sebagai Media Filter.....	22
Gambar 2.2 Proses <i>Biological Aerated Filter</i>	27
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian.....	41
Gambar 3.2 Denah Reaktor.....	46
Gambar 3.3 Potongan A-A Reaktor.....	46
Gambar 3.4 Skema Pengoperasian Reaktor.....	49
Gambar 3.5 Proses running Reaktor dengan Sistem Aerasi.....	49
Gambar 4.1 Lokasi Tambak Udang Vannamei di Desa Cerme, Gresik.....	56
Gambar 4.2 Air Tambak Udang <i>Litopenaeus Vannamei</i>	57
Gambar 4.3 Tahapan Proses Tracer Pada Reaktor Biofilter.....	57
Gambar 4.4 Tahapan Proses Tracer Pada Reaktor Biofilter Setelah KMnO_4 Merata di Reaktor.....	58
Gambar 4.5 Pengambilan Air di Unit Pengolahan Oxidation Ditch IPLT Keputih.....	59
Gambar 4.6 Proses <i>Seeding</i> Pada Reaktor Biofilter.....	62
Gambar 4.7 Analisis Permanganat Value.....	62
Gambar 4.8 Konsentrasi PV dalam Proses <i>Seeding</i>	63
Gambar 4.9 Proses Aklimatisasi Pada Reaktor Biofilter.....	64
Gambar 4.10 Konsentrasi PV dalam Proses Aklimatisasi.....	66
Gambar 4.11 Biofilm yang Terbentuk di Reaktor Biofilter Dengan Media Bioball.....	71
Gambar 4.12 Tahapan Analisis COD.....	72
Gambar 4.13 Analisa COD.....	72
Gambar 4.14 Konsentrasi COD Pada reaktor dengan Aerasi 48 Jam.....	73
Gambar 4.15 Konsentrasi BOD_5 Pada reaktor dengan Aerasi Intermitten 12 Jam.....	76
Gambar 4.16 Analisis BOD.....	79
Gambar 4.17 Konsentrasi BOD_5 Pada reaktor dengan Aerasi 48 Jam.....	80
Gambar 4.18 Konsentrasi BOD_5 Pada reaktor dengan Aerasi Intermitten 12 Jam.....	81
Gambar 4.19 Analisa Phospat.....	85

Gambar 4.20 Konsentrasi PO_4^{3-} Pada reaktor dengan Aerasi 48 Jam.....	85
Gambar 4.21 Konsentrasi PO_4^{3-} Pada reaktor dengan Aerasi Intermiten 12 Jam.....	87
Gambar 4.22 Mekanisme Proses Metabolisme Di Dalam Proses Dengan Sistem Biofilm.....	89
Gambar 4.23 Analisa Ammonia.....	91
Gambar 4.24 Konsentrasi NH_3 Pada reaktor dengan Aerasi 48 Jam.....	91
Gambar 4.25 Konsentrasi NH_3 Pada reaktor dengan Aerasi Intermiten 12 Jam.....	93
Gambar 4.26 Mekanisme Penghilangan Ammonia Di Dalam Proses Biofilter.....	95
Gambar 4.27 Analisa Nitrat.....	96
Gambar 4.28 Konsentrasi NO_3 Pada reaktor dengan Aerasi 48 Jam.....	96
Gambar 4.29 Konsentrasi NO_3 Pada reaktor dengan Aerasi Intermiten 12 Jam.....	98
Gambar 4.30 Analisa DO.....	102
Gambar 4.31 Konsentrasi DO Pada reaktor dengan Aerasi 48 Jam.....	103
Gambar 4.32 Beberapa Metoda Aerasi Untuk Proses Pengolahan Air Limbah dengan Sistem Biofilter Tercelup.....	104
Gambar 4.33 Transfer Oksigen dalam Proses Aerobik.....	106
Gambar 4.34 Konsentrasi DO Pada reaktor dengan Aerasi Intermiten 12 Jam.....	107
Gambar 4.35 Analisa pH.....	109
Gambar 4.36 pH Pada Reaktor dengan Aerasi 48 Jam.....	110
Gambar 4.37 pH Pada Reaktor dengan Aerasi Intermiten 12 Jam.....	111

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Budidaya udang merupakan suatu kegiatan yang sering dijumpai di daerah pesisir negara-negara tropis dan subtropis. Keberadaannya di sekitar ekosistem pesisir menjadikan usaha tambak udang sebagai suatu kegiatan yang identik dengan pengrusakan lingkungan. Salah satunya adalah pencemaran lingkungan yang terjadi akibat limbah dari sisa aktivitas budidaya memasuki ekosistem pesisir di sekitarnya. Pada umumnya, limbah berasal dari sisa aktivitas budidaya bersifat kaya akan unsur hara (Boyd, 1990).

Hal ini terjadi karena air yang digunakan untuk memelihara udang mendapatkan tambahan unsur hara dari proses pemupukan dan pemberian pakan. Pupuk yang diaplikasikan untuk meningkatkan produksi fitoplankton dalam tambak biasanya mengandung unsur nitrogen dan fosfor. Kemajuan budidaya udang ditambak baik pola intensif maupun semiintensif akan berakibat meningkatnya pemakaian pakan. Kurang tepatnya pemberian pakan (*feeding regime*) akan berakibat pada akumulasi sisa pakan secara perlahan-lahan serta meningkatkan kadar bahan pencemar yang ikut terurai menjadi unsur hara bersama sisa metabolisme udang. Melihat kondisi di atas, maka mungkin saja terjadi pengayaan unsur hara di perairan umum sekitar areal budidaya apabila air buangan tambak tidak dikelola dengan baik.

Unsur nitrogen (total N) dan fosfat (total P) yang terkandung dalam pakan udang merupakan sumber pencemaran air yang dapat mendorong terjadinya eutrofikasi, disamping nilai BOD tinggi yang menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut. Selain itu hasil peruraiannya menyebabkan timbulnya nitrit, ammonia, dan sulfida yang akan menyebabkan pencemaran air apabila jumlahnya berlebihan sehingga melampaui daya dukung perairan yang berakibat timbulnya alga (Herlambang dan Marsidi, 2003).

Salah satu upaya mengolah limbah budidaya perairan cara yang sederhana yaitu dengan pengolahan biofilter aerob menggunakan media *bioball*. Konsep teknologi pengolahan

dengan biofilter aerob merupakan suatu istilah dari reaktor yang dikembangkan dengan prinsip mikroba tumbuh dan berkembang menempel pada suatu media filter dan membentuk *biofilm* (*attached growth*). Teknologi *biofilm* yaitu memanfaatkan media *biofilm* sebagai media filter untuk menurunkan konsentrasi polutan. Proses *biofilm* memiliki kemampuan menurunkan kadar senyawa organik dan nutrient di beberapa pengolahan limbah dengan memanfaatkan bakteri nitrifikasi (Borkar, 2013).

Proses pengolahan air limbah dengan metode ini lebih efektif dikarenakan tidak membutuhkan kolam yang luas serta waktu tinggal yang cukup lama seperti halnya apabila kita menggunakan proses pengolahan air limbah secara biologis dengan lagoon atau kolam. Selain itu, dengan sistem biofilm tidak perlu dilakukan sirkulasi lumpur sehingga tidak akan terjadi masalah *bulking* seperti pada proses lumpur aktif pada proses pengolahan air limbah secara biologis dengan biakan tersuspensi (*suspended culture*) (Said, 2005). Proses biofilter aerob mempunyai kemampuan antara lain mengubah ammonia menjadi nitrit dan selanjutnya menjadi nitrat, menghilangkan polutan organik (BOD COD), menambah oksigen terlarut, menghilangkan gas inert lainnya, menghilangkan kekeruhan dan menjernihkan air, serta dapat menghilangkan bermacam-macam senyawa organik (Said, 2005).

Biofilter dengan media *bioball* ini merupakan proses pengolahan air limbah dengan proses biakan melekat menggunakan media *bioball* untuk tempat berkembang biaknya mikroba pengurai polutan organik. Media *bioball* untuk proses biofilter mempunyai beberapa keunggulan antara lain pemasangannya mudah, biaya operasional murah, perawatannya mudah, mempunyai luas spesifik yang cukup besar dan tidak memerlukan manhole besar sehingga sesuai dengan paket IPAL yang kecil (Said, 2005). Mengingat di kawasan tambak udang Desa Cerme belum terdapat pengolahan lebih lanjut terhadap limbah budidaya tambak udang, metode ini tentu dapat diaplikasikan dengan mudah oleh petambak yang memiliki lahan terbatas dan setelah setelah dilakukan pengolahan dengan sistem biofilter air limbah tersebut memenuhi baku mutu efluen tambak udang sesuai Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor : KEP.28/MEN/2004.

Yang, *et al.* (2007) menyatakan bahwa kolom biofilter yang semakin tinggi akan menghasilkan performansi reduksi yang lebih tinggi pula. Sehingga efisiensi reduksi polutan yang dihasilkan reaktor biofilter pada kedalaman tertinggi diharapkan akan lebih tinggi apabila dibandingkan dengan efisiensi reduksi yang dihasilkan pada kedalaman yang lebih rendah. Berdasarkan penelitian tersebut, pada sistem biofilter ini dilakukan variasi tinggi media filter yang akan dikaji adalah kedalaman media 30, 40, dan 50 cm serta dilakukan secara acak dengan menggunakan laju alir optimum yang telah ditentukan.

Pada sistem biofilter terlekat biasanya ditambahkan aerasi. Hal ini dikarenakan lapisan mikrobiologis cukup tebal, maka pada bagian luar lapisan mikrobiologis akan berada dalam kondisi aerobik sedangkan pada bagian dalam biofilm yang melekat pada medium akan berada dalam kondisi anaerobik. Variasi sistem biofilter yang digunakan adalah dengan aerasi 48 jam dan aerasi intermitten 12 jam. Sehingga didapatkan perbandingan efek sistem aerasi terhadap efisiensi dan kinerja dari biofilter aerob ini dalam mereduksi polutan pada limbah budidaya tambak udang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Berapa kemampuan penyisihan COD, BOD, Amonia, Nitrat, Phospat, dan peningkatan DO dalam air limbah budidaya tambak udang pada reaktor biofilter?
2. Bagaimana pengaruh variasi tinggi media dan aerasi dalam kemampuan penyisihan COD, BOD, Amonia, Nitrat, Phospat, serta peningkatan DO dalam air limbah budidaya tambak udang pada reaktor biofilter?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengkaji efisiensi penyisihan COD, BOD, Amonia, Nitrat, Phospat, dan peningkatan DO dalam air limbah budidaya tambak udang setelah melalui reaktor biofilter.
2. Menganalisis pengaruh variasi tinggi media dan aerasi terhadap penyisihan COD, BOD, Amonia, Nitrat, Phospat,

serta peningkatan DO dalam air limbah budidaya tambak udang pada reaktor biofilter

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Memberi informasi mengenai kandungan COD, BOD, DO, Amonia, Phospat, Nitrat, pH dan suhu air limbah budidaya tambak udang di Desa Cerme, Kabupaten Gresik.
2. Memperoleh data dan memberi informasi bahwa teknologi biofilter merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk menurunkan kadar polutan air limbah budidaya tambak udang.
3. Mencegah pencemaran air pada badan air sungai terdekat akibat pembuangan air limbah tambak udang.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang Lingkup untuk membatasi masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah:

1. Lokasi sampling air limbah dilakukan di Tambak Udang Vannamei (*Litopenaeus vannamei*) Desa Cerme, Gresik.
2. Parameter yang akan diuji dalam penelitian ini adalah kadar COD, BOD, DO, Amonia, Nitrat, Phospat, dan suhu dalam air limbah budidaya tambak udang.
3. Variasi yang dilakukan adalah ketinggian media biofilter serta sistem biofilter dengan aerasi 48 jam dan aerasi intermitten 12 jam.
4. Analisis yang dilakukan berskala laboratorium untuk mengetahui kadar COD, BOD, Amoniak, Nitrat, Phospat, DO, suhu dan pH dalam air limbah budidaya tambak udang di Desa Cerme, Kabupaten Gresik.
5. Penelitian ini dilaksanakan pada rentang waktu Februari 2015 hingga Mei 2015.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kegiatan Tambak Udang

2.1.1 Budidaya Tambak Udang

Pembudidayaan udang adalah kegiatan membiakkan, membesarkan, memelihara udang dan memanen hasilnya (Anonim, 2004). Di Indonesia, budidaya udang perairan dilakukan melalui berbagai sarana. Kegiatan budidaya yang paling umum dilakukan di kolam/empang, tambak, keramba, serta keramba apung. Definisi tambak atau kolam menurut Garno (2004) adalah badan air yang berukuran 1 m² hingga 2 ha yang bersifat permanen atau musiman yang terbentuk secara alami atau buatan manusia. Tambak atau kolam cenderung berada pada lahan dengan lapisan tanah yang kurang porus. Istilah kolam biasanya digunakan untuk tambak yang terdapat di daratan dengan air tawar, sedangkan tambak untuk air payau atau air asin. Salah satu fungsi tambak bagi ekosistem perairan adalah terjadinya pengkayaan jenis biota air. Bertambahnya jenis biota tersebut berasal dari pengenalan biota-biota yang dibudidayakan.

Jenis-jenis tambak yang ada di Indonesia meliputi: tambak intensif, tambak semi intensif, tambak tradisional dan tambak organik. Perbedaan dari ketiga jenis tambak tersebut terdapat pada teknik pengelolaan mulai dari padat penebaran, pola pemberian pakan, serta sistem pengelolaan air dan lingkungan. Hewan yang dibudidayakan dalam tambak adalah hewan air, terutama ikan, udang, serta kerang.

Perkembangan tambak di Indonesia secara intensif meningkat sejak tahun 1990. Pengembangan tambak tersebut dilakukan melalui upaya konversi hutan mangrove. Peningkatan luas lahan tambak diiringi dengan berkurangnya luas mangrove di wilayah pesisir tersebut memicu terjadinya kerusakan lingkungan yang ditimbulkan dari polusi kegiatan pertambakan.

Keberlanjutan budidaya tambak sangat tergantung pada kondisi kualitas lingkungan perairan. Kondisi lingkungan perairan yang berbeda mempengaruhi kondisi kualitas lingkungan, baik secara fisika, kimia maupun biologi. Menunjukkan adanya perbedaan struktur komunitas zooplankton pada kondisi lingkungan perairan yang berbeda. Pengaruh lingkungan terhadap

perkembangan zooplankton dalam tambak. Pengembangan usaha budidaya tambak juga menghasilkan dampak negatif terhadap lingkungan disamping keuntungan secara ekonomi. Jenis tambak yang berbeda akan menghasilkan kondisi kualitas lingkungan yang berbeda pula. Kandungan klorofil-a, nitrat, nitrit, fosfat anorganik, COD dan TOC cenderung lebih rendah pada tambak organik dibandingkan dengan tambak konvensional. Tambak organik memberikan dampak yang lebih baik terhadap lingkungan dibandingkan dengan tambak konvensional.

Dampak budidaya terhadap lingkungan tersebut dapat memberikan dampak yang vital terhadap keberlanjutan budidaya menunjukkan adanya interaksi antara bahan organik dengan efisiensi produksi dari tanah tambak dimana kandungan bahan organik pada tambak yang produktivitasnya rendah cenderung lebih rendah dibandingkan tambak dengan produktivitas tinggi. Akumulasi bahan organik juga menunjukkan bahwa pada tambak dengan substrat dominan pasir cenderung lebih rendah dibandingkan dengan pada substrat dominan lanau. Adanya pengaruh lingkungan tambak terhadap aliran sungai di sekitarnya dimana kondisi air buangan tambak yang buruk (tercemar) juga akan menurunkan kondisi kualitas air sungai.

Sebagai media pemeliharaan biota air, tambak membutuhkan pengelolaan terkait dengan kesesuaian kondisi lingkungan budidaya untuk biota yang dibudidayakan. Pengelolaan yang dilakukan dalam budidaya tambak diantaranya adalah pengelolaan kualitas lingkungan, baik fisika, kimia, maupun biologis. Beberapa parameter lingkungan yang penting menurut Kandungan oksigen terlarut, kekeruhan serta masuknya organisme pengganggu (predator/parasit).

Salah satu faktor yang penting dalam pengelolaan tambak adalah plankton sebagai pakan alami serta sebagai indikator bagi kualitas lingkungan tambak. Pengelolaan tambak tidak hanya sebatas pada upaya untuk menghasilkan ikan, tetapi juga penting untuk menjaga kondisi lingkungan yang layak, mengawasi panen dan pertumbuhan ikan, pemeriksaan keberhasilan reproduksi ikan dan menjauhkan ikan-ikan yang tidak diinginkan (predator/parasit). Disamping itu juga masih terdapat banyak faktor yang harus diperhatikan dalam pengelolaan tambak seperti pengelolaan populasi ikan, pengelolaan sistem, pemilihan spesies ikan,

pemberiaan pakan, pemasaran, dan sebagainya. Tambak yang dikelola dengan baik cenderung memiliki kualitas air yang lebih baik (Nyanti *et al.*, 2011).

Budidaya udang adalah kegiatan menggemukkan dan membesarkan udang di tambak selama periode waktu tertentu, dipanen dan dijual untuk memperoleh keuntungan. Menurut Garno (2004), menyatakan bahwa berdasarkan pemberian makanannya, budidaya tambak udang secara umum dapat dikelompokkan dalam 3 jenis yakni :

- Konvensional yang merupakan usaha pembesaran udang dengan padat penebaran rendah (1-5 ekor/m²), tidak diberi makan makanan tambahan. Makanan udang adalah makanan alami yang tumbuh karena pemberian pupuk.
- Semi intensif yang merupakan usaha pembesaran udang dengan padat penebaran sedang (5-30 ekor/m²), diberi makan makanan tambahan secukupnya. Makanan udang adalah makanan alami yang tumbuh karena pemberian pupuk.
- Intensif yang merupakan usaha pembesaran udang dengan padat penebaran tinggi (>30 ekor/m²), diberi makan makanan tambahan dalam dosis tinggi.

Budidaya udang merupakan kegiatan yang menguntungkan bagi negara-negara tertentu karena sebagian besar hasil udang tersebut diekspor ke negara-negara maju (Nyanti *et al.*, 2011).

2.1.2 Limbah Budidaya Tambak Udang

Nilai ekspor udang Indonesia mencapai US\$ 632.6 juta dengan jumlah 48.177 ton, dan merupakan 43% dari nilai total ekspor perikanan Indonesia. Menurunnya hasil perikanan tangkap akibat overfishing dan pembatasan tangkapan lestari mengkondisikan sektor perikanan budidaya tumbuh agresif dengan pertumbuhan rata-rata 8,8% per tahun sejak tahun 1980. Total produksi perikanan budidaya mencapai 60 juta ton pada tahun 2010 dengan nilai US\$119.4 milyar (Anonim, 2012). Produksi perikanan budidaya dari jenis *crustacea* (jenis udang-udangan) pada tahun 2010 terdiri dari 29,4% pada perairan tawar dan 70,6% dari perairan laut yang didominasi oleh produksi jenis udang putih (*Litopenaeus vannamei*) (Anonim, 2012).

77% total produksi budidaya udang dunia diantaranya diproduksi oleh negara-negara Asia termasuk Indonesia. Saat ini tidak ada sistem produksi pangan yang benar-benar ramah lingkungan terutama dari perspektif energi dan keanekaragaman hayati, semua menghasilkan limbah, membutuhkan energi, menggunakan air dan merubah rona permukaan lahan (Diana, 2009).

Masalah yang sering dihadapi dalam budidaya udang adalah menumpuknya substansi pencemar yang akan menurunkan kualitas air media. Meningkatnya kadar substansi pencemar tersebut dapat mengganggu proses kehidupan dan bahkan pada kadar tertentu dapat mematikan udang. Polutan tersebut berasal dari dekomposisi bahan organik terutama sisa pakan dan organism yang telah mati, serta hanya sebagian berasal dari hasil metabolisme udang.

Limbah budidaya tambak udang merupakan salah satu sumber pencemaran dalam badan air. Limbah umumnya mengandung padatan tersuspensi (*Total Suspended Solid*) yang tinggi, *fitoplankton* dan nutrisi (Vijayasri *et al.*, 2013). Nutrien utama yang terdapat pada limbah budidaya tambak udang adalah kadar nitrogen dan fosfor yang tinggi. Selain itu, terdapat kandungan BOD sehingga menyebabkan pencemaran air yang cukup serius (Anh *et al.*, 2010). Pemberian pakan yang berlebihan merupakan salah satu penyebab terbentuknya limbah organik dalam bentuk padatan terendap, koloid, tersuspensi dan terlarut. Nutrien berlebih dalam tambak udang dapat menyebabkan eutrofikasi dan udang yang dibudidayakan biasanya rentan terkena penyakit (Lavania-Baloo *et al.*, 2014).

Pencemaran perairan pesisir terjadi karena buangan air dari kolam budidaya mengandung 3 jenis bahan kontaminan utama seperti nutrisi, obat-obatan dan antibiotik serta bahan kimia. Peningkatan jumlah total kontaminan di perairan sejalan dengan pembuangan air budidaya ke perairan terdekat yang menyebabkan penurunan kualitas air dan penyebaran penyakit. Nutrisi dari tambak berupa sisa pakan menyebabkan hypernutrisi di perairan dekat tambak. Bahan kontaminan dari nutrisi terakumulasi didalam sedimen perairan yang mengakibatkan peningkatan kadar nitrogen, hidrogen sulphida, penipisan oksigen dan meningkatkan populasi bakteri.

Pakan dipergunakan udang untuk pertumbuhannya tetapi tidak seluruhnya dapat dimanfaatkan udang sebagian berupa limbah organik dalam bentuk hasil metabolisme dan sisa pakan yang tidak termanfaatkan. Budidaya udang intensif menghasilkan limbah organik terutama yang berasal dari pakan, feses dan bahan-bahan terlarut, yang terbuang ke perairan dan akan mempengaruhi kualitas lingkungan pesisir. Pakan buatan menyediakan sebagian besar nitrogen (92%); fosfor (51%) dan bahan organik (40%) dalam tambak intensif. Dari total pakan udang hanya 16,7% yang dirubah menjadi biomassa, sisanya adalah sisa pakan yang tidak dikonsumsi, kotoran dan dieleminasi menjadi metabolit selanjutnya kira-kira 35% merupakan limbah organik berupa sisa pakan (15%) dan sisa metabolisme udang (20%). (Primavera, 1998)

Budidaya udang secara intensif menghasilkan rata-rata buangan nitrogen berkisar 6 – 664 kg/km²/tahun dan menghasilkan buangan pertahunnya sebesar 9 – 485 ton/tahun, sedangkan buangan fosfor berkisar antara 0,4 – 77 kg/km/tahun dan buangan tahunan sebesar 0,7 – 35 ton/tahun. Untuk mengurangi dampak dari buangan limbah tambak dianjurkan dibuatkan pengelolaan limbah yang tepat guna. (Kibria *et al.*, 1996).

Limbah yang terbuang dalam bentuk N dan P sangat ditentukan oleh kapasitas produksi tambak, sehingga semakin tinggi produksi tambak persatuan luas (kg/ha) maka semakin besar limbah N dan P yang terbuang ke perairan (Boyd, 2001).

Nyanti *et al.* (2011) menyatakan bahwa konsentrasi TSS, COD, BOD₅, total nitrat, dan total fosfat tinggi di perairan pesisir. Besarnya beban dari masing-masing parameter ini yang dibuang ke perairan dari lokasi pertambakan secara berurut adalah: 3.533,3 kg/ha (TSS) ; 7.824,4 kg/ha (COD); 735,6 kg/ha (BOD₅); 167,8 kg/ha (Total nitrat); dan 3,0 kg/ha (total fosfat).

Air limbah tambak udang yang akan dibuang ke badan air terdekat harus memenuhi baku mutu yang berlaku agar tidak mencemari perairan setempat.

Tabel 2.1 Baku Mutu Efluen Tambak Udang

No	Parameter	Satuan	Besaran
Fisika			
1.	TSS (Total Suspend Solid)	mg/l	≤ 200
2.	Kekeruhan	NTU (Nephelometer Turbidity Unit)	≤ 50
Kimia			
1.	pH		6 – 9,0
2.	BOD ₅	mg/l	< 45
3.	PO ₄ ³⁻	mg/l	< 0,1
4.	H ₂ S	mg/l	< 0,03
5.	NO ₃	mg/l	< 75
6.	NO ₂	mg/l	< 2,5
7.	NH ₃	mg/l	< 0,1
Biologi			
1.	Dinoflagellata	Individu/l	< 8×10^2
	Gymnodium		
	Perinidium	Individu/l	< 8×10^2
2.	Bakteri Patogen	CFU (Calory Froming Unit)	< 10^2

Sumber : Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan
 Nomor: KEP. 28/MEN/2004 Tentang Pedoman Umum Budidaya Udang
 di Tambak

2.2 Proses Pengolahan Air Limbah Secara Biologis

Pengolahan air limbah secara biologi merupakan pengolahan air limbah dengan memanfaatkan mikroorganisme. Mikroorganisme ini dimanfaatkan untuk menguraikan bahan-bahan organik yang terkandung dalam air limbah menjadi bahan yang lebih sederhana dan tidak berbahaya. Pemakaian mikroorganisme disebabkan karena mikroorganisme memiliki enzim, enzim inilah yang berfungsi untuk menguraikan bahan organik tersebut. Jenis mikroorganisme yang umum dipergunakan dalam pengolahan air limbah adalah bakteri (Ketut, 2012).

Kehidupan mikroorganisme sangat dipengaruhi oleh lingkungannya, sehingga dalam pengolahan air limbah secara biologi harus memperhatikan lingkungan mikroorganisme yaitu : derajat keasaman (pH), temperature, bahan makanan (nutrient) dan kebutuhan oksigen. (Ketut, 2012).

Berdasarkan kebutuhan oksigen, pengolahan air limbah secara biologi dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) proses yaitu :

a. Pengolahan air limbah secara biologi aerob, yaitu pengolahan air limbah dengan mikroorganisme disertai dengan injeksi oksigen (udara) kedalam proses. Pada proses ini jenis mikroorganisme yang dipergunakan adalah mikroorganisme yang hidup dengan adanya Oksigen Oksigen yang diinjeksikan dimanfaatkan oleh kehidupan mikroorganisme dan proses oksidasi

b. Pengolahan air limbah secara biologi anaerob, yaitu pengolahan air limbah dengan mikroorganisme Tanpa injeksi oksigen (udara) kedalam proses. Pada proses ini jenis mikroorganisme yang dipergunakan adalah mikroorganisme yang dapat hidup tanpa adanya Oksigen

c. Pengolahan air limbah secara biologi "Fakultatif", yaitu pengolahan air limbah dengan mikroorganisme Tanpa injeksi oksigen (udara) secara langsung kedalam proses. Pada proses ini terdapat dua jenis mikroorganisme yang dipergunakan yaitu mikroorganisme aerob dan anaerob. Pada proses ini, umumnya pada bagian atas kolam (tangki) akan bersifat aerob sedangkan pada bagian bawah kolam akan bersifat anaerob. (Ketut, 2012).

Umumnya bakteri merupakan mikroorganisme utama dalam proses pengolahan biologi. Karakteristik mereka beragam dan kebutuhan lingkungan yang sederhana membuat mereka dapat bertahan pada lingkungan air limbah. Perlu diperhatikan bahwa mikroorganisme lain juga dapat ditemukan pada lingkungan pengolahan air limbah namun peranannya dalam oksidasi materi organik relatif kecil. Proses pengolahan biologi juga dapat dibagi berdasarkan media pertumbuhan mikroorganismenya, yaitu :

a. *Suspended growth* atau pertumbuhan tersuspensi

Mikroorganisme berada dalam keadaan tersuspensi di air limbah seperti pada reaktor lumpur aktif atau kolam oksidasi.

b. *Attached growth* atau pertumbuhan terlekat

Mikroorganisme tumbuh terlekat pada media pendukung yang berada di dalam air limbah. Media pendukung ini dapat berupa media pendukung yang bergerak (*rotating biological contactor, fluidized bed, rotortogue*), diam (*trickling filter, baffled reactor*), terendam (*fluidized bed*) maupun tidak terendam (*trickling filter*).

c. Kombinasi dari *suspended* dan *attached growth*.

Secara keseluruhan, tujuan pengolahan limbah secara biologis pada limbah domestik ialah (1) Mengubah (mengoksidasi) unsure terlarut dan partikel biodegradable ke dalam bentuk akhir yang cocok (2) Menangkap dan menggabungkan padatan tersuspensi dan padatan koloid yang sulit diendapkan pada lapisan biofilm (3) Mengubah atau menghilangkan nutrisi, seperti nitrogen dan fosfor (4). Pada beberapa kasus, menghilangkan unsur dan senyawa trace organik spesifik. (Metcalf dan Eddy, 2004)

Pengolahan air limbah biologis secara garis besar dapat dibagi menjadi tiga yakni:

- Proses biologis dengan biakan tersuspensi adalah sistem pengolahan dengan menggunakan aktifitas mikro-organisme untuk menguraikan senyawa polutan yang ada dalam air dan mikro-organisme yang digunakan dibiakkan secara tersuspensi di dalam suatu reaktor. Beberapa contoh proses pengolahan dengan sistem ini antara lain : proses lumpur aktif standar/konvensional (standard activated sludge), step aeration, contact stabilization, extended aeration, oxidation ditch (kolam oksidasi sistem parit) dan lainnya.
- Proses biologis dengan biakan melekat yakni proses pengolahan limbah dimana mikroorganisme yang digunakan dibiakkan pada suatu media sehingga mikroorganisme tersebut melekat pada permukaan media. Proses ini disebut juga dengan proses film mikrobiologis atau proses biofilm. Beberapa contoh teknologi pengolahan air limbah dengan cara ini antara lain : trickling filter, biofilter tercelup, reaktor kontak biologis putar (*rotating biological contactor, RBC*), *contact aeration/oxidation* (aerasi kontak) dan lainnya.
- Proses pengolahan air limbah secara biologis dengan lagoon atau kolam adalah dengan menampung air limbah pada suatu kolam yang luas dengan waktu tinggal yang cukup lama sehingga dengan aktifitas mikroorganisme yang tumbuh secara alami, senyawa polutan yang ada dalam air akan terurai. Untuk mempercepat proses penguraian senyawa polutan atau memperpendek waktu tinggal dapat juga dilakukam proses aerasi. Salah satu contoh proses pengolahan air limbah dengan cara ini adalah kolam aerasi atau kolam stabilisasi (*stabilization pond*). Proses dengan

sistem lagoon tersebut kadang-kadang dikategorikan sebagai proses biologis dengan biakan tersuspensi. (Said, 2000)

Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pengolahan Secara biologi Berbagai faktor yang perlu diperhatikan dalam pengolahan air limbah secara biologi diantaranya :

- a. Kualitas air limbah yang akan diolah meliputi : derajat keasaman (pH), temperatur, konsentrasi bahan organik yang dinyatakan dalam besaran chemical oxygen demand (COD) dan biological oxygen demand (BOD), dan konsentrasi logam berat.
- b. Laju alir air limbah, laju alir air limbah berpengaruh terhadap waktu tinggal (waktu proses) didalam tangki aerasi, semakin besar laju alir, waktu tinggal semakin kecil dan ini akan berdampak pada hasil pengolahan air limbah.
- c. Konsentrasi mikroorganisme didalam tangki aerasi, konsentrasi mikroorganisme berpengaruh terhadap hasil pengolahan air limbah, jika konsentrasi mikroorganisme terlalu kecil maka hasil pengolahan tidak maksimal, dan jika terlalu besar mikroorganisme bekerja tidak maksimal dan hasil pengolahan juga tidak maksimal. Pada umum dipergunakan perbandingan antara jumlah makanan (F) sebagai nutrient terhadap jumlah mikroorganisme yaitu (F/M) ratio yang besarnya berkisar 0,8 – 1,0. Artinya jika COD air limbah sebesar 5000 mg/L, maka konsentrasi mikroorganisme dalam tangki aerasi kurang lebih 5000 mg/L.
- d. Injeksi udara, besarnya udara yang diinjeksikan berpengaruh terhadap kelarutan oksigen dalam tangki aerasi, kelarutan oksigen berpengaruh terhadap hasil pengolahan air limbah. Jika oksigen terlarut sangat kecil, maka hasil pengolahan tidak maksimal. Kelarutan oksigen dalam air limbah diharapkan maksimal sehingga hasil pengolahan air limbah maksimal. Berdasarkan data kelarutan oksigen yang baik sekitar 2 mg/L.
- e. Distribusi Udara, Injeksi udara kedalam air limbah dimaksudkan untuk membantu kebutuhan oksigen mikroorganisme dan proses oksidasi. Distribusi udara yang tidak merata dapat mempengaruhi hasil pengolahan

air limbah, diharapkan udara terdistribusi secara merata agar hasil pengolahan air limbah maksimal.

- f. Laju alir (recycle) mikroorganisme, besarnya laju alir recycle mikroorganisme berpengaruh terhadap waktu tinggal dan konsentrasi mikroorganisme pada tangki aerasi. Laju alir recycle harus dilakukan pengendalian agar konsentrasi mikroorganisme pada tangki aerasi tidak berlebih maupun berkurang dan waktu tinggal terpenuhi sehingga hasil pengolahan air limbah maksimal.

2.3. Biofilm

Biofilm adalah kumpulan sel mikroorganisme, khususnya bakteri yang melekat di suatu permukaan dan diselimuti oleh pelekat karbohidrat yang dikeluarkan oleh bakteri. Biofilm terbentuk karena mikroorganisme cenderung menciptakan lingkungan mikro dan relung mereka sendiri. Biofilm memerangkap nutrisi untuk pertumbuhan populasi mikroorganisme dan membantu mencegah lepasnya sel-sel dari permukaan pada sistem yang mengalir.

Proses biofilm merupakan proses pengolahan biologis dengan sistem terlekat yaitu pengolahan limbah dimana mikroorganisme yang digunakan dibiakkan pada suatu media. Proses ini dapat mengurangi kadar bahan organik dan nutrient yang terdapat pada air limbah. Kadar bahan organik dan nutrient yang berkurang setelah melewati media sistem terlekat disebut juga biofilm. Proses biofilm dapat dilakukan secara aerobik maupun anaerobik (Metcalf dan Eddy, 2003).

Apabila pada media terbentuk lapisan lendir yang berwarna hitam kecoklatan-coklatan serta tidak mudah terlepas dari media, maka dapat dipastikan bahwa telah tumbuh mikroorganisme pada media. Sampai mikroorganisme tumbuh diperlukan waktu selama 2 minggu. Hal tersebut dilakukan untuk didapatkan hasil sampai terjadi *steady state* pada kondisi air limbah. (Herlambang, 2002).

Kelebihan pertumbuhan melekat dan pembentukan biofilm bagi pengolahan air limbah dapat dirangkum sebagai berikut :

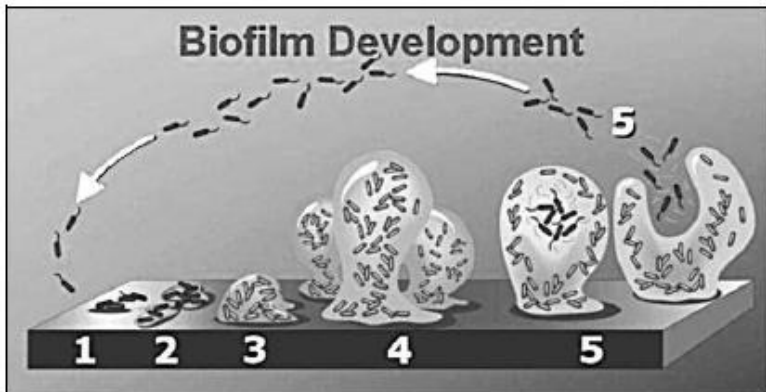
- Kepadatan populasi bakteri yang tinggi dapat dipertahankan, karena bakteri menempel pada material dan tidak ikut melimpas ke effluen.

- Peningkatan kinerja sistem dapat dicapai karena konsentrasi biomass yang tinggi.
- Resisten terhadap shock loading dan recovery yang lebih bagus sebagai hasil dari fungsi proteksi dari extra polymeric substance (EPS) yang menempel pada biofilm.
- Pengembalian lumpur aktif untuk meningkatkan aktifitas bakteri pada sistem reaktor pertumbuhan tersuspensi tidak dibutuhkan dalam reaktor biofilm, sehingga dapat mengurangi biaya pengoperasian.

Kerugian dari pertumbuhan melekat diantaranya adalah:

- a. Terhambatnya transfer massa, contohnya adalah transfer oksigen atau substrat melalui lapisan EPS dapat menghambat pertumbuhan mikrobiologi di dasar biofilm
- b. Resiko dari penyumbatan ketika reaktor tidak didesain dan dioperasikan secara baik
- c. Sulitnya evaluasi kinetika proses karena interaksi yang kompleks antaran biofilm dan cairan
- d. Tidak seragamnya distribusi substrat dan populasi biomass karena sulitnya sistem pengadukan
- e. Perkembangan mikroorganisme yang menempel pada substratum dipengaruhi oleh beberapa faktor, meliputi pori pori dan karakteristik permukaan substratum. Material material yang dapat digunakan sebagai substratum dicirikan sebagai berikut:
 - Sifat material : proses fisik dan biologi dalam reaktor tidak merusak sifat dari material pendukung tersebut, begitu juga sebaliknya.
 - Kekasaran permukaan: kekasaran mewakili jumlah dan ukuran celah celah dimana mikroorganisme dapat mengawali pertumbuhan tanpa gangguan gaya geser aliran air.
 - Porositas material: porositas material yang tinggi menghasilkan angka pori yang tinggi dan bisa mengurangi resiko penyumbatan
 - Specific surface area: angka *specific surface area* yang tinggi menyediakan tempat yang berlebih bagi pertumbuhan mikroorganisme

- Pembentukan dan Pertumbuhan Biofilm
Perkembangan biofilm, minimal, dibagi empat tahapan, sebagaimana dirangkum oleh Stoodley *et al.* (2002):



Gambar 2.1 Perkembangan biofilm : 1. Non-permanen 2. Permanen, 3. Maturasi, 4. Detachment, 5. Penutupan siklus
Sumber : Stoodley *et al.* 2002

Reversible attachment, yaitu penempelan sel tunggal dan pergerakan bebas menginisiasi pembentukan biofilm pada permukaan. Sejumlah kecil dari *exopolymeric material* terlibat dalam tahapan ini. Pelekatan sel ini tidak permanen dan sel dengan mudahnya dapat meninggalkan permukaan material. Selama tahap reversibel ini bakteri memperlihatkan perilaku khusus yang meliputi menggelinding, meloncat, bergabung membentuk koloni dan lepas dari koloni, sebelum mereka menghasilkan exopolysaccharides dan menempel secara permanen.

Irreversible attachment, yaitu setelah pelekatan non-permanen pada permukaan berubah menjadi pelekatan permanen, bakteri harus mempertahankan kontak dengan substratum. Perubahan sifat penempelan dari non-permanen ke permanen dicirikan sebagai transisi yang paling lemah. Bakteri mulai menghasilkan banyak exopolysaccharides untuk melewati transisi ini. Setelah itu interaksi antar bakteri untuk membentuk grup sel dan membantu untuk saling menguatkan dalam penempelan di permukaan. Sel tunggal memproduksi

polysaccharide yang mengikat sel bersama dan memfasilitasi pembentukan mikro koloni dan ini membawa tahapan berikutnya yakni tahapan pematangan biofilm.

Maturasi – pematangan yaitu selama maturasi, biofilm menghasilkan saluran, pori-pori dan penempatan kembali dari bakteri yang sempat lepas dari material. Dalam tahap ini, banyak protein yang dideteksi dalam sampel biofilm yang mencerminkan keragaman bakteri. Aktivitas yang bervariasi juga diidentifikasi seperti perubahan metabolisme, transpor melalui membran, adaptasi dan aktivitas proteksi.

Detachment atau pelepasan, yaitu umumnya digambarkan sebagai pelepasan sel baik itu sel tunggal ataupun grup dari biofilm. Sel yang lepas dipercaya menjadi penutup bagi siklus pertumbuhan biofilm. Skema pendek dari siklus ini yang diambil dari Stoodley *et al.* (2002) ditunjukkan dalam gambar di atas.

b. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pembentukan Biofilm

Struktur biofilm secara umum merupakan hasil interaksi dari mikroorganisme dengan medium dan pengaruh proses biologi-fisikimia di dalamnya. Semua faktor di atas seharusnya dipertimbangkan selama pembentukan biofilm. Stoodley *et al.* (2002) menyatakan bahwa minimal ada empat hal yang mempengaruhi struktur biofilm

- Karakteristik geometrikal dari substratum.
- Karakteristik mikroorganisme yang menyusun biofilm
- Kondisi hidrodinamik disekitar biofilm
- Nutrisi yang tersedia dalam cairan dan dalam biofilm
- Karakteristik dari substratum (*hydrophilic*, *hydrophobic*)

Pada tahapan awal, sifat dari substratum memainkan peran terpenting. Kekasaran substratum mempromosikan kolonisasi bakteri. Hasil yang mirip diperoleh dengan mengamati pembentukan biofilm selama periode *start-up* dari *expanded-bed reactor*.

Hipotesisnya adalah rekaman dalam permukaan kasar dapat memproteksi pertumbuhan biofilm selama periode awal dari gaya geser akibat hidrodinamik cairan. Hal ini memungkinkan perkembangan biofilm tahap berikutnya.

2.4 Biofilter

Proses pengolahan air limbah dengan proses biofilter dilakukan dengan cara mengalirkan air limbah ke dalam reaktor biologis yang telah diisi dengan media penyangga untuk pengembangbiakan mikroorganisme dengan atau tanpa aerasi. Untuk proses aerobik dilakukan pemberian udara atau oksigen. Biofilter yang baik adalah menggunakan prinsip biofiltrasi yang memiliki struktur menyerupai saringan dan tersusun dari tumpukan media penyangga yang disusun baik secara teratur maupun acak di dalam suatu biofilter. Adapun fungsi dari media penyangga yaitu sebagai tempat tumbuh dan berkembangnya bakteri yang akan melapisi permukaan media membentuk lapisan massa yang tipis (*biofilm*) (Herlambang dan Marsidi, 2003).

Sistem biofilter merupakan proses yang terjadi saat mikroorganisme (lapisan *biofilm*) akan mendegradasi senyawa organik dalam air. Air akan melewati celah media dan kontak langsung dengan lapisan *biofilm*. Media tumbuh lapisan *biofilm* merupakan salah satu kunci pada sistem biofilter. Media tumbuh memiliki struktur menyerupai saringan dan tersusun dari tumpukan media penyangga yang disusun secara teratur atau acak. Efisiensi biofilter tergantung dari luas kontak antara air limbah dengan mikroorganisme yang menempel pada media tumbuh. Makin luas bidang kontakannya, maka efisiensi penurunan BOD semakin besar. Selain mengurangi konsentrasi BOD dan COD, cara ini juga dapat mengurangi konsentrasi TSS, ammonia dan fosfor (Hadiwidodo dkk., 2012)

Menurut Slamet dan Masduqi (2000), faktor yang mempengaruhi proses biofilter yaitu :

a. Pengaruh Temperatur

Pengaruh temperature memberikan efek yang berlawanan pada proses aerobik *biofilm*. Laju difusi nutrisi dan oksigen akan naik seiring dengan kenaikan temperatur namun disisi lain laju kelarutan oksigen menurun. Temperatur memberikan pengaruh pada proses pertumbuhan *biofilm*. Pengaruh temperatur pada proses nitrifikasi telah dikaji bahwa pada *attached growth* dapat mencapai laju nitrifikasi > 70% pada range temperature 25°C-30°C

- b. Pengaruh Oksigen Terlarut
Konsentrasi oksigen terlarut memberikan pengaruh pada laju pertumbuhan bakteri aerobik dalam pengolahan secara biologis. Kehadiran oksigen terlarut dalam jumlah yang cukup sangat diperlukan untuk proses oksidasi dan sintesa sel.
- c. Pengaruh pH
Konsentrasi ion hydrogen (pH) pada umumnya memberikan pengaruh yang besar pada kecepatan pertumbuhan biomas. Secara umum pH operasi untuk proses aerobik berkisar pada pH 6,5 – 7,2.
- d. Pengaruh Beban Hidrolik Beban hidrolik digunakan untuk menjelaskan debit atau kapasitas pengolahan per satuan volume atau persatuan luas permukaan filter. Beban hidrolik merupakan salah satu parameter yang mempengaruhi efisiensi oksidasi. Beban hidrolik akan berpengaruh secara langsung pada waktu kontak dan waktu tinggal air limbah secara keseluruhan di dalam reaktor. Waktu tinggal yang pendek tidak akan mengoptimalkan proses pada seluruh jenis bakteri penyusun biofilm.
- e. Pengaruh beban organik Laju pengurangan zat organik dalam sistem pengolahan limbah secara biologis dikategorikan berdasar pada konsentrasi BOD yang ada di dalam air limbah. Berdasarkan beban (Low-rate treatment) organiknya, biofilter dibagi menjadi 2 yaitu pengolahan dengan laju rendah dan pengolahan dengan laju cepat (High rate Treatment).

2.4.1 Media Biofilter

Media penyangga adalah merupakan bagian yang terpenting dari biofilter, oleh karena itu pemilihan media harus dilakukan dengan seksama disesuaikan dengan kondisi proses serta jenis air limbah yang akan diolah. Media biofilter yang digunakan secara umum dapat berupa bahan material organik atau bahan material anorganik. Untuk media biofilter dari bahan organik misalnya, dalam bentuk tali, bentuk jaring, bentuk butiran tak teratur (*random packing*), bentuk papan (*plate*), bentuk sarang tawon, dan lain-lain. Sedangkan media dari bahan anorganik

misalnya, batu pecah (*split*), kerikil, batu marmer, batu tembikar, dan lain-lain. Biasanya untuk media biofilter dari bahan anorganik, semakin kecil diameternya luas permukaannya semakin besar, sehingga jumlah mikroorganisme yang dapat dibiakkan juga menjadi besar pula, tetapi volume rongga menjadi lebih kecil.

Untuk media biofilter dari bahan organik banyak yang dibuat dari bahan inert dengan cara dicetak dari bahan tahan karat dan ringan misalnya PVC dan lainnya, dengan luas permukaan spesifik yang besar dan volume rongga (porositas) yang besar, sehingga dapat melekatkan mikroorganisme dalam jumlah yang besar dengan resiko kebuntuan yang sangat kecil. Dengan demikian memungkinkan untuk pengolahan air limbah dengan konsentrasi yang tinggi serta efisiensi pengolahan yang cukup besar.

Tabel 2.2 Perbandingan Luas Permukaan Spesifik Biofilter

No.	Jenis Media	Luas Permukaan Spesifik (m^2/m^3)
1.	Trickling Filter dengan Batu Pecah	100-200
2.	Modul Sarang Tawon (<i>honeycomb modul</i>)	150-240
3.	Tipe jarring	50
4.	RBC	80-150
5.	Bioball (random)	200-240

Sumber : Said, 2005

2.4.2 Bioball

Media *bioball* mempunyai keunggulan antara lain mempunyai luas spesifik yang cukup besar, pemasangannya mudah (*random*), sehingga untuk paket instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) kecil sangat sesuai. Keunggulan dari media *bioball* yaitu karena ringan, mudah dicuci ulang, dan memiliki luas permukaan spesifik yang paling besar di bandingkan dengan jenis media biofilter lainnya, yaitu sebesar 200 – 240 m^2/m^3 . Sedangkan jenis *bioball* yang dipilih adalah yang berbentuk bola dengan diameter 3 cm karena *bioball* jenis ini yang memiliki diameter paling kecil dan dengan bentuknya yang seperti bola (*random packing*) dapat meminimalkan terjadinya *clogging* (tersumbat). *Bioball* ini

berfungsi sebagai tempat hidup bakteri – bakteri yang diperlukan untuk menjaga kualitas air (Said, 2005).

Media bioball banyak digunakan sebagai media biofilter dikarenakan efisiensi removalnya yang baik, dimana mikroorganisme yang tumbuh pada permukaan media bioball juga lebih banyak daripada media genteng beton, tutup botol, dan media lainnya. Pada saat mikroorganisme sudah cukup matang/stabil, biomasa bakteri juga akan bertambah secara stabil sehingga lapisan biofilm pada permukaan media menjadi semakin tebal. Kondisi seperti ini menyebabkan difusi makanan dan oksigen pada lapisan terdalam semakin sedikit sejalan dengan bertambah tebalnya lapisan sehingga hanya bakteri diluar saja yang bekerja maksimal.

Akibat terhentinya suplai makanan, maka mikroorganisme pada lapisan dalam akan mengalami tahap respirasi *endogenous*, dimana mikroorganisme yang lapar akan memanfaatkan sitoplasmanya untuk mempertahankan hidup. Pada kondisi seperti ini, mikroorganisme akan kehilangan kemampuan untuk menempel pada media, sehingga mikroorganisme akan terlepas dan terbawa keluar dari sistem biofilter. Apabila mikroorganisme yang mati terdapat dalam celah-celah kecil (bioball memiliki banyak celah kecil) maka tidak dapat lepas dan tetap berada dalam biofilter, hal ini dapat menambah beban organik sehingga kemampuan mereduksi polutan organik secara optimal tidak terlalu lama jika dibandingkan jenis media yang lain.

Media jenis ini dimasukkan secara acak ke dalam reaktor sehingga dinamakan *random packing*. Umumnya media ini mempunyai fraksi rongga yang baik dan relatif tahan terhadap penyumbatan dibandingkan dengan *mesh pads* atau unggun kerikil. Karena setiap bagian packing atau media dapat disesuaikan pada setiap reaktor. Media tipe *random packing* harus dipasang diatas penyangga jenis *grid* atau *screen*. *Packing* ini harus memakai wadah karena tidak mempunyai kekuatan struktur dasar. Secara umum packing random kekuatan mekanikanya relatif kecil.



Gambar 2.2 Bioball yang digunakan sebagai media biofilter
Sumber : Said, 2005

2.4.3 Prinsip Pengolahan Air Limbah dengan Sistem Biakan Melekat

Prinsipnya, proses biologi yang diaplikasikan dalam pengolahan air limbah dapat dibagi menjadi dua katagori utama: pertumbuhan tersuspensi dan pertumbuhan melekat.

Pada proses pertumbuhan tersuspensi, mikroorganisme yang bertanggung jawab bagi pengolahan air limbah dipertahankan dalam kondisi tersuspensi dalam cairan dengan metode pengadukan yang merata, seperti pada proses lumpur aktif bagi penyisihan BOD dan nitrifikasi serta penyisihan fosfor. Pada proses pertumbuhan melekat, mikroorganisme yang bertanggung jawab bagi konversi dari material organik atau nutrient menempel pada satu substratum. Senyawa organik dan nutrien disisihkan dari air limbah selama mengalir melewati mikroorganisme yang menempel pada substratum tersebut atau yang dikenal sebagai biofilm.

Nama nama yang sudah dikenal bagi proses proses tersebut yang menggunakan bakteri tersuspensi aerobik atau anaerobik adalah proses lumpur aktif, kolam aerasi, kolam stabilisasi dan *Continuesly Stirred Tank Reactor* (CSTR) dan bagi proses pertumbuhan melekat adalah *Trickling Filter*, *Rotating Biological Contactor* (RBC), *Up flow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) dan lain lain.

a. Pertumbuhan Tersuspensi

Dalam reaktor jenis ini maka mikroorganisme dipertahankan dalam kondisi tersuspensi dengan menyediakan

pengadukan yang layak. Mikroorganisme yang tersuspensi tersebut umumnya mengacu sebagai mixed liquor (volatile) suspended solids (Metcalf and Eddy, 2003).

Parameter penting dari proses lumpur aktif adalah pembentukan partikel flok yang berukuran dari 50 – 200 μ m, yang bisa disisihkan dengan pengendapan gravitasi dalam bak sedimentasi. Flok lumpur aktif sering digambarkan mempunyai dua bagian, bagian yang terikat kuat dan lemah, keduanya sebagian besar terdiri dari sel bakteri dan extracellular polymeric substances (EPS) (Keiding and Nielsen 1997, Liao *et al.*, 2002, Sheng *et al.*, 2006).

Dalam proses lumpur aktif, dimana penyisihan senyawa organiknya (COD) dan nitrogen menjadi tujuan utama, bakteri nitrifikasi dikenal tumbuh dalam mikro koloni yang rapat dibagian dalam flok (Wagner *et al.* 1995, Mobarry *et al.* 1996, Daims *et al.* 2001), yang terlihat membentuk bagian terkuat dari flok (Jorand *et al.* 1995, Biggs and Lant 2000).

b. Pertumbuhan Melekat

Proses biologi terjadi selama material organik dan nutrisi mengalir melewati biofilm. Biofilm terdeteksi di dalam dan di permukaan substratum, yang seharusnya tahan terhadap korosi akibat proses fisik maupun biologi. Substratum tersebut juga harus murah, ringan dan punya permukaan yang luas.

Pada reaktor dengan pertumbuhan biofilm melekat, mikroorganisme tidak ikut mengalir keluar melalui effluen, jika pelekatan biofilm pada media cukup kuat. Mikroorganisme dapat berkonsentrasi dalam reaktor dan meningkatkan kinerja dari reaktor. Disamping itu, biofilm yang tebal menghasilkan resistensi yang lebih baik dan recovery dari mikroorganisme terhadap shock loading atau pengaruh toksik. Keuntungan lain dari proses melekat pada skala lapangan adalah kebutuhan energi yang lebih sedikit, pengoperasional yang lebih sederhana dan tanpa problem dengan bulking sludge.

Suatu sistem biofilm terdiri dari media penyangga / media biofilter, lapisan biofilm yang melekat pada media, lapisan air limbah, dan lapisan udara yang terletak diluar. Senyawa polutan yang ada dalam air limbah misalnya senyawa organik (BOD dan COD), amonia, fosfor, dan polutan lainnya akan terdifusi

kedalam lapisan atau film biologis yang melekat dalam permukaan media.

Pada saat yang bersamaan dengan menggunakan oksigen terlarut didalam air limbah, senyawa polutan tersebut akan diuraikan oleh mikroorganisme yang ada didalam lapisan biofilm dan energi yang dihasilkan akan diubah menjadi biomassa. Jika lapisan mikrobiologis cukup tebal, maka pada bagian luar lapisan mikrobiologis akan berada dalam kondisi aerobik sedangkan pada bagian dalam biofilm berada dalam kondisi anaerobik.

Pada kondisi anaerobik akan terbentuk gas H_2S dimana yang terbentuk akan diubah menjadi sulfat oleh bakteri sulfat yang ada didalam biofilm. Selain itu, pada zona aerobik amonia-nitrogen akan diubah menjadi nitrit dan nitrat dan selanjutnya pada zona anaerobik nitrat yang terbentuk mengalami proses denitrifikasi menjadi gas nitrogen. Oleh karena didalam sistem biofilm terjadi kondisi anaerobik-aerobik pada saat bersamaan maka dengan sistem tersebut proses penghilangan senyawa amonia-nitrogen menjadi lebih mudah.

Pengolahan air limbah dengan proses biofilm mempunyai beberapa kemampuan antara lain dapat mengubah amonia menjadi nitrit dan selanjutnya menjadi nitrat dan akhirnya menjadi gas nitrogen, menghilangkan senyawa polutan organik, mengilangkan kelebihan nitrogen dan gas inert lainnya, mengilangkan kekeruhan dan menjernihkan air, serta dapat menghilangkan bermacam - macam senyawa organik. Pada umumnya proses biofilm digunakan untuk mengubah dan mengilangkan polutan oganik dan senyawa amonia (Said, 2005).

- Kelebihan :

Pengolahan air limbah dengan proses biofilter mempunyai beberapa keunggulan, antara lain:

1. Pengoperasiannya mudah
Di dalam proses pengolahan air limbah dengan sistem biofilm tanpa dilakukan sirkulasi lumpur, tidak terjadi masalah "*bulking*" seperti pada proses lumpur aktif. Karena itu pengolahannya sangat mudah.
2. Lumpur yang dihasilkan sedikit
Dibandingkan dengan proses lumpur aktif, lumpur yang dihasilkan pada proses biofilm relative lebih kecil. Di dalam proses lumpur aktif antara 30 – 60 % dari BOD yang

dihilangkan (removal BOD) diubah menjadi lumpur aktif (biomassa) sedangkan pada proses biofilm hanya sekitar 10-30 %. Hal ini disebabkan karena pada proses biofilm rantai makanan lebih panjang dan melibatkan aktifitas mikroorganisme dengan orde yang lebih tinggi dibandingkan pada proses lumpur aktif.

3. Dapat digunakan untuk pengolahan air limbah dengan konsentrasi rendah maupun konsentrasi tinggi.

Karena di dalam proses pengolahan air limbah dengan sistem biofilm mikroba melekat pada permukaan media penyangga, maka pengontrolan terhadap mikroorganisme atau mikroba lebih mudah. Proses biofilm tersebut cocok digunakan untuk mengolah air limbah dengan konsentrasi rendah maupun konsentrasi tinggi.

4. Tahan terhadap fluktuasi jumlah air limbah maupun fluktuasi konsentrasi

Di dalam proses biofilter, mikroorganisme melekat pada permukaan media, akibatnya konsentrasi biomassa mikroorganisme per satuan volume relatif besar sehingga relative tahan terhadap fluktuasi beban organik maupun fluktuasi beban hidrolis.

5. Pengaruh penurunan suhu terhadap efisiensi pengolahan kecil.

Jika suhu air limbah turun, maka aktifitas mikroorganisme juga berkurang. Tetapi, karena di dalam proses biofilm substrat maupun enzim dapat terdifusi sampai ke bagian biofilm dan juga lapisan biofilm bertambah tebal, maka pengaruh penurunan suhu (suhu rendah) tidak begitu besar (Said, 2005).

Kelebihan metode biofilter dengan menggunakan media *Bioball* yaitu mempunyai luas spesifik yang cukup besar, pemasangannya mudah (*random*), sehingga untuk paket Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) kecil sangat sesuai. Keunggulan lain dari media *Bioball* yaitu karena ringan, mudah dicuci ulang, dan memiliki luas permukaan spesifik yang paling besar dibandingkan dengan jenis media biofilter lainnya, yaitu sebesar $200-240 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Media *Bioball* bentuknya seperti bola (*random packing*) dapat meminimalkan terjadinya penyumbatan (*clogging*).

- Kekurangan

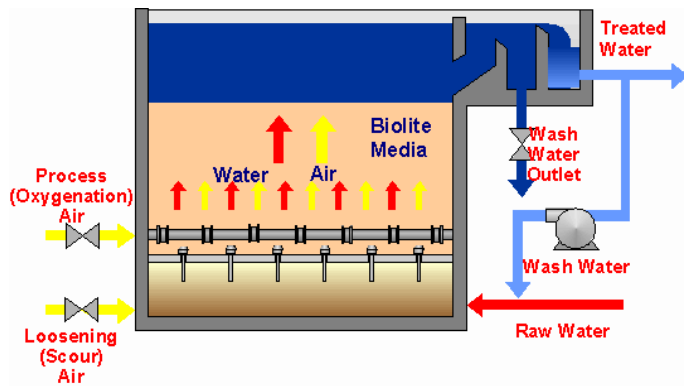
Kekurangan metode biofilter dalam pengolahan air limbah yaitu pada keadaan dimana substrat dari media biofilter tertutup oleh kotoran dari limbah yang lebih besar seperti batu dan kayu, maka kemampuan daya serapnya akan berkurang.

Media *Bioball* merupakan tempat tinggal bakteri pengurai (*biology*), sebagai penyaring kotoran dengan tidak memerlukan perawatan yang rumit, harga satuan tidak terlalu mahal, akan tetapi harus diperlukan dalam jumlah yang banyak sehingga harus menyisihkan perhatian yang khusus terhadap proses perawatan media *Bioball*.

2.5 Biological Aerated Filter (BAF)

Biological Aerated Filter (BAF) merupakan suatu bioreaktor yang sangat efektif dan sangat fleksibel dalam melakukan removal zat organik dalam mengolah air limbah (Liu Xing *et al.*, 2010). BAF mulai berkembang di negara-negara eropa dan telah diaplikasikan di berbagai negara, sistem pengolahan air limbahnya mempunyai keuntungan, dengan memakai sistem tersebut, yaitu dengan menggabungkannya dengan sistem pengolahan lain (Liu Xing *et al.*, 2010). Teknologi pada penggunaan BAF didasarkan pada prinsip pemakaian biofiltrasi melalui media granular yang ditenggelamkan dengan tujuan memberikan serta mengubah komponen biologi bahan organik berupa berupa biomass yang menempel pada media, daya dukung terbesar pada permukaan media dan meremoval secara fisik berupa partikel yang terlarut dari media filtrasi.

Sebagai teknologi yang digunakan untuk pengolahan air limbah secara terpusat, BAF meremoval bahan organik, bahan organik terlarut, dan amoniak di unit reaktor. Reaktor kemungkinan dapat dimanfaatkan untuk pengolahan air limbah secara sekunder dan tersier. Pemilihan media sangat penting dalam pengoperasian BAF yang menentukan kualitas dari efluen (Liu Xing *et al.*, 2010).



Gambar 2.3 Proses *Biological Aerated Filter*
Sumber : Forum Fixed Film, 2014

2.6 Pengaruh Tinggi Media Filter

Variasi ketinggian media filter terhadap reduksi polutan dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh kedalaman medium filter terhadap performansi biofilter dalam mereduksi polutan pada air limbah. Hasil penelitian Yang, *et al.*, (2007) menyatakan bahwa posisi kolom yang semakin tinggi dapat menghasilkan performansi reduksi yang lebih baik. Hal ini disebabkan oleh semakin banyaknya gas polutan yang mengalami kontak dengan medium dan mikroorganisme terinokulasi, sehingga semakin banyak pula gas yang dapat direduksi. Performa ini juga ditunjang oleh waktu kontak yang lebih lama antara gas polutan dan media filter. Sehingga dapat dikatakan bahwa kolom biofilter yang semakin tinggi akan menghasilkan performansi reduksi yang lebih tinggi pula.

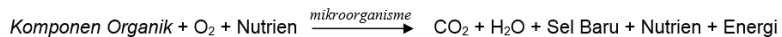
Pada penelitian ini, variasi ketinggian media filter yang akan dikaji adalah kedalaman 30, 40, dan 50 cm dilakukan secara acak, dengan menggunakan laju alir optimum yang telah ditentukan. Basis kedalaman medium filter yang digunakan pada umumnya untuk biofilter adalah 50 cm, sehingga dilakukan variasi guna mendapatkan tinggi media filter yang paling sesuai untuk pengolahan air limbah tambak udang.

Alasan pemilihan tinggi media filter 30 cm, 40 cm, dan 50 cm adalah menurut penelitian Yang, *et al.*, (2007) apabila menggunakan media yang terlalu tinggi seperti contohnya pada

penggunaan kedalaman medium filter 80 cm, harus ditambahkan penggunaan *perforated plates* dengan tujuan untuk memastikan adanya redistribusi gas yang merata di dalam kolom biofilter sehingga distribusi gas dalam kolom lebih homogen. *Perforated plates* dipasang pada setengah bagian massa medium di dalam kolom biofilter. Sehingga uji performansi biofilter dalam mereduksi polutan menjadi optimal.

2.7 Pengaruh Aerasi pada Biofilter

Pada Biofilter, proses mekanisme pendegradasian bahan organik yaitu BOD, nitrogen dan fosfat adalah pertama mereka akan terdifusi ke dalam lapisan atau film biologis yang melekat pada permukaan media. Pada saat yang bersamaan dengan menggunakan oksigen yang terlarut di dalam air limbah, senyawa polutan tersebut akan diuraikan oleh mikroorganisme yang ada di dalam lapisan biofilm dan energi yang dihasilkan akan diubah menjadi biomassa. Suplai oksigen pada biofilter dapat dilakukan dengan penambahan pengolahan pretreatment seperti aerasi. Reaksi yang terjadi adalah seperti berikut :



Jika reaksi penguraian komponen kimia dalam air terus berlaku, maka kadar oksigenpun akan menurun. Pada klimaksnya oksigen yang tersedia tidak cukup untuk menguraikan komponen kimia tersebut sehingga keadaan dalam biofilter yang semula aerobik akan menjadi fakultatif karena kekurangan oksigen sehingga mikroorganisme akan mati dan terendap pada rongga-rongga media.

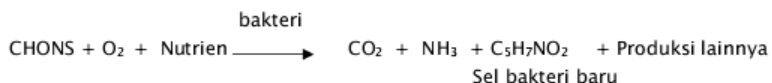
Hal ini dapat menyebabkan beban organik bertambah besar pada outlet biofilter dan menyebabkan efisiensi removal menjadi menurun. Untuk itu perlu ditambahkan 1 pengolahan pretreatment berupa aerasi agar kadar oksigen dalam air tetap stabil karena semakin banyak mikroorganisme menguraikan bahan organik, maka semakin besar oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme tersebut (Said, 2005)

Pada pengolahan lanjutan terhadap limbah budidaya tambak udang ini, dibutuhkan aerasi sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan. Proses aerob biasanya menghasilkan biomassa

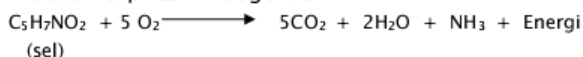
dalam jumlah besar (66%) dan menghasilkan air, gas, asam organik (34%).

Reaksi yang terjadi :

Proses Oksidasi dan Sintesis :



Proses Respirasi Endogenus :



2.8 Kebutuhan Oksigen Kimia (COD)

Effendi (2003) menggambarkan COD sebagai jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi, baik yang dapat didegradasi secara biologi (*biodegradable*) maupun yang sukar di degradasi secara biologis (*non biodegradable*) menjadi CO_2 dan H_2O . Pada prosedur penentuan COD, oksigen yang dikonsumsi setara dengan jumlah dikromat yang diperlukan untuk mengoksidasi air sampel. Pengukuran COD didasarkan pada kenyataan bahwa hampir semua bahan organik dapat dioksidasi menjadi CO_2 dan H_2O dengan bantuan oksidator kuat (kalium dikromat/ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) dalam suasana asam. Meskipun demikian, terdapat juga bahan organik yang tidak dapat dioksidasi dengan metode ini, misalnya piridin dan bahan organik yang bersifat mudah menguap (*volatile*). Glukosa dan lignin dapat dioksidasi secara sempurna. Asam amino dioksidasi menjadi ammonia dan nitrogen. Nitrogen organik dioksidasi menjadi nitrat.

Berdasarkan kemampuan oksidasi, penentuan nilai COD dianggap paling baik dalam menggambarkan keberadaan bahan organik, baik yang dapat didekomposisi secara biologis maupun tidak. Uji ini disebut juga uji COD, yaitu suatu uji yang menentukan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bahan oksidan misalnya kalium dikromat, untuk mengoksidasi bahan-bahan organik yang terdapat di dalam air.

Banyak zat organik yang tidak mengalami penguraian biologis secara cepat berdasarkan pengujian BOD lima hari, tetapi senyawa organik tersebut juga menurunkan kualitas air. Bakteri

dapat mengoksidasi zat organik menjadi CO_2 dan H_2O . Kalium dikromat dapat mengoksidasi lebih banyak lagi, sehingga menghasilkan nilai COD yang lebih tinggi dari BOD untuk air yang sama. Sementara itu bahan-bahan yang stabil terhadap reaksi biologi dan mikroorganisme dapat ikut teroksidasi dalam uji COD. Sembilan puluh enam persen hasil uji COD yang selama 10 menit, kira-kira akan setara dengan hasil uji BOD selama lima hari (Kristianto, 2002).

2.9 Kebutuhan Oksigen Biokimiawi (BOD₅)

Kebutuhan oksigen biokimia merupakan pendekatan pengukuran kadar bahan organik dengan melihat jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme aerobik dalam mengoksidasi bahan organik tersebut (Effendi, 2003). Namun, pengukuran BOD₅ hanya menggambarkan kadar bahan organik yang dapat terdekomposisi secara biologis atau *biodegradable organics*. Menurut Novotny dan Olem (1994), proses dekomposisi biologis di perairan dapat mengubah bahan organik menjadi bagian bagian yang lebih sederhana seperti air, karbondioksida, mineral, dan residu bahan organik lain yang tidak dapat didekomposisi secara biologis (*non-biodegradable*).

Dekomposisi bahan organik pada dasarnya terjadi melalui dua tahap. Pada tahap pertama, bahan organik diuraikan menjadi bahan anorganik. Pada tahap kedua, bahan anorganik yang lebih stabil, misalnya ammonia mengalami oksidasi menjadi nitrit dan nitrat (nitrifikasi). Pada penentuan nilai BOD, hanya dekomposisi tahap pertama yang berperan, sedangkan oksidasi bahan anorganik (nitrifikasi) dianggap sebagai pengganggu.

Secara tidak langsung, BOD merupakan gambaran kadar bahan organik, yaitu jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroba aerob untuk mengoksidasi bahan organik menjadi karbondioksida dan air (Effendi, 2003). Dengan kata lain, BOD menunjukkan jumlah oksigen yang dikonsumsi oleh proses respirasi mikroba aerob yang terdapat dalam botol BOD yang diinkubasi pada suhu sekitar 20 °C selama 5 hari, dalam keadaan tanpa cahaya (Boyd, 1988).

BOD₅ merupakan salah satu indikator pencemaran organik pada suatu perairan. Besarnya nilai BOD di perairan bergantung kepada tingginya konsentrasi dari bahan organik itu sendiri serta

faktor lain seperti suhu dan kepadatan plankton (Boyd, 1988). Bahan organik akan distabilkan secara dengan melibatkan mikroba melalui sistem oksidasi aerobik dan anaerobik. Oksidasi aerobik dapat menyebabkan penurunan kandungan oksigen terlarut di perairan sampai pada tingkat terendah, sehingga kondisi perairan menjadi anaerobik yang dapat mengakibatkan kematian organisme akuatik. Menurut Effendi (2003), perairan alami memiliki nilai BOD antara 0.5 mg/liter sampai 7.0 mg/liter, sedangkan perairan dengan nilai BOD lebih dari 10.0 mg/liter tergolong ke dalam perairan tercemar.

Perhitungan kadar BOD mempunyai tujuan yaitu :

1. Menentukan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan semua zat organik baik terlarut maupun tersuspensi dalam air limbah.
2. Menentukan desain bangunan sistem pengolahan air limbah.
3. Menentukan efisiensi bangunan pengolahan air limbah.

BOD akan semakin tinggi jika derajat pengotoran limbah semakin besar. Normalnya, BOD diukur selama 5 hari pada suhu 20°C dan besarnya berkisar antara 100-300 mg/L.

2.10 Oksigen Terlarut (*Dissolved Oxygen*)

Oksigen terlarut adalah gas oksigen yang terdapat di perairan dalam bentuk molekul oksigen belum dapat bukan dalam bentuk molekul hidrogenoksida, biasanya dinyatakan dalam mg/l (ppm) (Darsono, 1992). Oksigen terlarut dibutuhkan oleh semua jasad hidup untuk pernapasan, proses metabolisme atau pertukaran zat yang kemudian menghasilkan energi untuk pertumbuhan dan pembiakan. Oksigen juga dibutuhkan untuk oksidasi bahan-bahan organik dan anorganik dalam proses aerobik. Sumber utama oksigen dalam suatu perairan berasal dari suatu proses difusi dari udara bebas dan hasil fotosintesis organisme yang hidup dalam perairan tersebut (Salmin, 2000).

Kecepatan difusi oksigen dari udara, tergantung dari beberapa faktor, seperti kekeruhan air, suhu, salinitas, pergerakan massa Air dan udara seperti arus, gelombang dan pasang surut. Odum (1971) menyatakan bahwa kadar oksigen dalam perairan akan bertambah dengan semakin rendahnya suhu dan berkurang dengan semakin tingginya salinitas. Pada lapisan permukaan,

kadar oksigen akan lebih tinggi, karena adanya proses difusi antara air dengan udara bebas serta adanya proses fotosintesis. Bertambahnya kedalaman akan mempengaruhi penurunan kadar oksigen terlarut, karena proses fotosintesis semakin berkurang dan kadar oksigen yang ada banyak digunakan untuk pernapasan dan oksidasi bahan-bahan organik dan anorganik. Keperluan organisme terhadap oksigen relatif bervariasi tergantung pada jenis, stadium dan aktifitasnya. Kebutuhan oksigen untuk ikan dalam keadaan diam relatif lebih sedikit apabila dibandingkan dengan ikan pada saat bergerak atau memijah. Jenis-jenis ikan tertentu yang dapat menggunakan oksigen dari udara bebas, memiliki daya tahan yang lebih terhadap perairan yang kekurangan oksigen terlarut.

Kandungan oksigen terlarut (DO) minimum adalah 2 ppm dalam keadaan normal dan tidak tercemar oleh senyawa beracun (*toksik*). Kandungan oksigen terlarut minimum ini sudah cukup mendukung kehidupan organisme. Idealnya, kandungan oksigen terlarut tidak boleh kurang dari 1,7 ppm selama waktu 8 jam dengan sedikitnya pada tingkat kejenuhan sebesar 70 % (Salmin, 2001). KLH menetapkan bahwa kandungan oksigen terlarut adalah 5 ppm untuk kepentingan wisata bahari dan biota laut (Anonim, 2004). Oksigen memegang peranan penting sebagai indikator kualitas perairan, karena oksigen terlarut berperan dalam proses oksidasi dan reduksi bahan organik dan anorganik.

Selain itu, oksigen juga menentukan klan biologis yang dilakukan oleh organisme aerobik atau anaerobik. Dalam kondisi aerobik, peranan oksigen adalah untuk mengoksidasi bahan organik dan anorganik dengan hasil akhirnya adalah nutrisi yang pada akhirnya dapat memberikan kesuburan perairan. Dalam kondisi anaerobik, oksigen yang dihasilkan akan mereduksi senyawa-senyawa kimia menjadi lebih sederhana dalam bentuk nutrisi dan gas. Karena proses oksidasi dan reduksi inilah maka peranan oksigen terlarut sangat penting untuk membantu mengurangi beban pencemaran pada perairan secara alami maupun secara perlakuan aerobik yang ditujukan untuk memurnikan air buangan industri dan rumah tangga. Sebagaimana diketahui bahwa oksigen berperan sebagai pengoksidasi dan pereduksi bahan kimia beracun menjadi senyawa lain yang lebih sederhana dan tidak beracun. Disamping itu, oksigen juga sangat

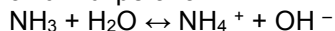
dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk pernapasan. Organisme tertentu, seperti mikroorganisme, sangat berperan dalam menguraikan senyawa kimia beracun menjadi senyawa lain yang lebih sederhana dan tidak beracun. Karena peranannya yang penting ini, air buangan industri dan limbah sebelum dibuang ke lingkungan umum terlebih dahulu diperkaya kadar oksigennya.

Konsentrasi oksigen terlarut memberikan pengaruh pada laju pertumbuhan bakteri aerobik dalam pengolahan secara biologis. Keberadaan oksigen terlarut dalam jumlah yang cukup sangat diperlukan untuk proses oksidasi dan sintesa sel. (Slamet dan Masduqi, 2002)

2.11 Ammonia

Udang merupakan spesies yang termasuk dalam golongan amonotelik (mengeluarkan produk ekskresi yang berupa amoniak lewat insang). Hasil dari ekskresinya mencapai 60-80% dan akan mempengaruhi kadar amoniak didalam media kultur (Dall dan Smith, 1986). Amonia di perairan berasal dari sisa metabolisme (ekskresi) hewan dan proses dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme. Pada air buangan tambak udang, keberadaan amonia dihasilkan dari aktivitas ekskresi udang itu sendiri dan proses dekomposisi bahan organik dari sisa pakan dan kotoran selama pemeliharaan udang. Menurut Effendi (2003), sumber amonia lainnya di perairan adalah gas nitrogen dari proses difusi udara yang tereduksi di dalam air.

Amonia di perairan dapat dijumpai dalam bentuk amonia total yang terdiri dari amonia bebas (NH_3) dan ion amonium (NH_4^+). Pada suhu dan tekanan normal amonia berada dalam bentuk gas dan membentuk kesetimbangan dengan ion amonium. Selain terdapat dalam bentuk gas, ammonia membentuk kompleks dengan beberapa ion logam. Amonia juga dapat terserap kedalam bahan-bahan tersuspensi dan koloid sehingga mengendap di dasar perairan. Kesetimbangan antara kedua bentuk amonia di atas bergantung pada kondisi pH dan suhu perairan (Midlen dan Redding, 2000). Berikut ini adalah bentuk kesetimbangan gas amonia dan ion amonium di perairan:



Ammonia yang terukur di perairan berupa ammonia total (NH_3 dan NH_4^+). Ammonia bebas tidak dapat terionisasi (amoniak),

sedangkan ammonium (NH_4^+) dapat terionisasi. Persentase ammonia meningkat dengan meningkatnya nilai pH dan suhu perairan. Ammonia di perairan akan ditemukan lebih banyak dalam bentuk ion amonium jika pH perairan kurang dari 7, sedangkan pada perairan dengan pH lebih dari 7, amonia bebas atau amonia tak-terionisasi yang bersifat toksik terdapat dalam jumlah yang lebih banyak (Novotny dan Olem, 1994). Menurut Abel (1989), tingkat toksisitas amonia tak-terionisasi tergantung pada kondisi pH dan suhu di suatu perairan, sehingga kenaikan nilai pH dan suhu menyebabkan proporsi amonia bebas di perairan meningkat.

Tabel 2.3 Hubungan konsentrasi amonia bebas (un-ionized NH_3) dan amonia total dalam persen (%) terhadap suhu dan pH

pH	Suhu			
	26	28	30	32
7.0	0.60	0.7	0.81	0.95
8.0	5.71	6.55	7.52	8.77
9.0	3.71	41.23	44.84	49.02
10.0	85.82	87.52	89.05	90.58

Sumber : Effendi, 2003

Toksisitas amonia tak-terionisasi berbahaya bagi organisme akuatik, khususnya bagi ikan maupun udang (Effendi, 2003). Karena konsentrasi NH_3 bebas yang tinggi di perairan dapat menyebabkan kerusakan insang pada ikan. Selain itu tingginya konsentrasi NH_3 bebas dapat menyebabkan meningkatnya kadar amonia dalam darah dan jaringan tubuh ikan, sehingga dapat mengurangi kemampuan darah untuk mengangkut oksigen serta mengganggu kestabilan membran sel (Boyd, 1989). Menurut Effendi (2003), kadar amonia pada perairan alami tidak lebih dari 0.1 mg/liter. Kemudian jika konsentrasi ammonia tak-terionisasi lebih dari 0.2 mg/liter akan bersifat toksik bagi beberapa jenis ikan dan udang di perairan. Sementara itu, toksisitas ammonia terhadap organisme akuatik akan meningkat jika terjadi penurunan kadar oksigen terlarut, pH, dan suhu

2.12 Nitrit

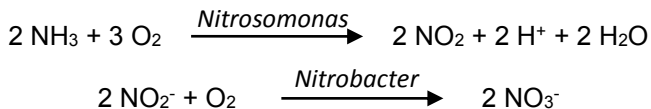
Pada perairan alami, nitrit (NO_2) biasanya ditemukan dalam jumlah yang sangat sedikit, lebih sedikit daripada nitrat, karena bersifat tidak stabil dengan keberadaan oksigen. Nitrit

merupakan bentuk peralihan (*intermediate*) antara ammonia dan nitrat (nitrifikasi), dan antara nitrat dengan gas nitrogen (denitrifikasi).

Kadar nitrit pada perairan relatif kecil karena segera dioksidasi menjadi nitrat. Di perairan, kadar nitrit jarang melebihi 1 mg/l. Kadar nitrit yang melebihi 0,05 mg/l dapat bersifat toksik bagi organisme perairan yang sangat sensitif. Bagi manusia dan hewan, nitrit bersifat lebih toksik daripada nitrat (Effendi, 2003).

2.13 Nitrat

Nitrat (NO_3) adalah bentuk utama nitrogen di perairan alami dan merupakan nutrient utama bagi pertumbuhan tanaman dan algae. Nitrat nitrogen sangat mudah larut dalam air dan bersifat stabil. Senyawa ini dihasilkan dari proses oksidasi sempurna senyawa nitrogen di perairan. Nitrifikasi yang merupakan proses oksidasi ammonia menjadi nitrat dan nitrit adalah proses yang penting dari siklus nitrogen dan berlangsung pada kondisi aerob. Oksidasi ammonia menjadi nitrit dilakukan oleh bakteri *Nitrosomonas*, sedangkan oksidasi nitrit menjadi nitrit menjadi nitrat dilakukan oleh bakteri *Nitrobacter*.



Proses nitrifikasi seperti yang ditunjukkan pada persamaan diatas sangat dipengaruhi oleh beberapa parameter sebagai berikut (Effendi, 2003) :

- Pada kadar oksigen < 2 mg/l, reaksi akan berjalan lambat.
- Nilai pH yang optimum bagi proses nitrifikasi adalah 8-9. Pada pH < 6, reaksi akan berhenti.
- Bakteri yang melakukan nitrifikasi cenderung menempel pada sedimen dan bahan padatan lain.
- Kecepatan pertumbuhan bakteri nitrifikasi lebih lambat daripada bakteri heterotrof. Apabila pada perairan banyak terdapat bahan organik, maka pertumbuhan bakteri heterotrof akan melebihi pertumbuhan bakteri nitrifikasi.

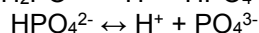
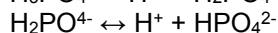
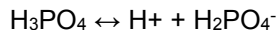
- e. Suhu optimum proses nitrifikasi adalah 20 °C – 25 °C. Pada kondisi suhu kurang atau lebih dari kisaran tersebut kecepatan nitrifikasi berkurang.

Nitrat dan ammonium adalah sumber utama nitrogen di perairan. Namun, ammonium lebih disukai oleh tumbuhan. Kadar nitrat di perairan tidak yang tidak tercemar biasanya lebih tinggi daripada kadar ammonium. Kadar nitrat-nitrogen pada perairan alami hampir tidak lebih dari 0,1 mg/l. Kadar nitrat-nitrogen yang lebih dari 0,2 mg/l dapat mengakibatkan terjadinya eutrofikasi (pengayaan) perairan yang selanjutnya menstimulir pertumbuhan algae dan tumbuhan air secara pesat (*blooming*).

Nitrat dapat digunakan untuk mengelompokkan tingkat kesuburan perairan. Perairan oligotrofik memiliki kadar nitrat antara 0 – 1 mg/l, perairan mesotrofik memiliki kadar nitrat yang berkisar antara 5 – 50 mg/l (Effendi, 2003).

2.14 Ortofosfat

Fosfor merupakan unsur hara metabolik penting yang dapat mengatur besarnya produktivitas di perairan alami. Boyd (1990) menyatakan bahwa sebagian besar perairan alami sensitif terhadap penambahan fosfor yang ditunjukkan dengan meningkatnya produksi tumbuhan, termasuk fitoplankton dan alga. Namun, unsur fosfor tidak ditemukan dalam bentuk bebas di perairan, melainkan terdapat dalam bentuk senyawa anorganik terlarut dan senyawa organik partikulat. Salah satu bentuk senyawa fosfor anorganik adalah ion ortofosfat terlarut. Ortofosfat terlarut adalah bentuk ionisasi asam ortofosfat (H_3PO_4) dan merupakan bentuk fosfor paling sederhana di perairan. Berikut adalah bentuk-bentuk ion ortofosfat terlarut di perairan.



Keberadaan dari bentuk-bentuk ionisasi tersebut bergantung kepada nilai pH perairan. Ortofosfat di perairan merupakan hasil hidrolisis dari polifosfat, dimana proses tersebut berlangsung dengan bergantung kepada suhu perairan. Pada suhu perairan yang lebih tinggi, perubahan polifosfat menjadi ortofosfat berlangsung lebih cepat. Selain itu, kecepatan hidrolisis tersebut akan meningkat seiring dengan menurunnya nilai pH. Pada

air limbah yang mengandung bakteri, perubahan polifosfat menjadi ortofosfat juga berlangsung lebih cepat.

Keberadaan fosfor secara berlebihan yang disertai dengan keberadaan nitrogen dapat menstimulir ledakan pertumbuhan algae di perairan (*algae bloom*). Algae yang berlimpah ini dapat membentuk lapisan pada permukaan air yang selanjutnya dapat menghambat penetrasi oksigen dan cahaya matahari sehingga kurang menguntungkan bagi ekosistem perairan (Effendi, 2003).

Menurut Boyd (1990), konsentrasi fosfor di perairan sangat rendah. Konsentrasi ortofosfat terlarut biasanya tidak pernah mencapai nilai antara 5 lg/liter hingga 20 lg/liter, dan jarang mencapai 100 lg/liter. Wetzel (2001) menyatakan bahwa kadar ortofosfat dibagi menjadi tiga berdasarkan klasifikasi penyuburan, yaitu; 0.003 lg/liter hingga 0.01 lg/liter untuk perairan oligotrofik; 0.011 lg/liter hingga 0.03 lg/liter untuk perairan mesotrofik; dan 0.031 lg/liter hingga 0.1 lg/liter untuk perairan eutrofik. Meskipun kadar fosfor di perairan cukup rendah, tetapi fosfor merupakan kebutuhan biologis yang penting dan sering sekali menjadi faktor penentu produktivitas di ekosistem akuatik (Boyd, 1990).

2.15 Suhu

Pada daerah beriklim tropis, suhu di perairan dipengaruhi oleh kondisi cuaca, ketinggian, sirkulasi udara dan sumber aliran perairan. Suhu memiliki peranan yang penting bagi proses fisika, kimia dan biologi di suatu perairan. Peningkatan suhu dapat menyebabkan peningkatan laju evaporasi, volatilisasi gas dan reaksi-reaksi kimia di perairan. Kenaikan suhu perairan dapat menyebabkan penurunan kelarutan gas di dalam air, termasuk gas O₂, CO₂, NH₃, dan H₂S (Effendi, 2003). Selain itu, peningkatan suhu juga dapat menyebabkan peningkatan laju metabolisme dan respirasi. Suhu yang sangat ekstrim serta perubahannya dapat berdampak buruk bagi kehidupan organisme akuatik, baik secara langsung maupun tak langsung. Pada umumnya, di Indonesia suhu dinyatakan dalam satuan derajat Celcius. Suhu air permukaan di perairan Indonesia kita umumnya berkisar antara 28°C-31°C (Nontji, 1993).

Pengaruh suhu memberikan efek yang berlawanan pada proses aerobik biofilm. Laju difusi nutrient dan oksigen akan naik seiring dengan kenaikan suhu, namun disisi lain laju kelarutan

oksigen menurun. Suhu membeberkan pengaruh pada proses pertumbuhan biofilm. Pengaruh suhu pada proses nitrifikasi telah dikaji bahwa pada attached growth dapat mencapai laju nitrifikasi > 70% pada range suhu 25°C-30°C (Slamet dan Masduqi, 2002).

2.16 pH

Menurut Effendi (2003), nilai pH yang terukur di perairan menggambarkan konsentrasi ion hidrogen. *Puissance d'Hydrogen* atau *Power of Hydrogen* didefinisikan sebagai logaritma negatif dari aktivitas ion hidrogen (Boyd, 1982). Keberadaan ion hidrogen di perairan dinyatakan dalam persamaan seperti di bawah ini.

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] \text{ atau } \text{pH} = \log \frac{1}{[\text{H}^+]}$$

Besarnya ion hidrogen dalam air dinyatakan dalam satuan g/liter. Kemudian diketahui bahwa konsentrasi ion hidrogen di dalam air murni yang netral adalah 1×10^{-7} g/liter. Effendi (2003) berpendapat bahwa besarnya nilai pH dapat mempengaruhi toksisitas senyawa-senyawa kimia serta mempengaruhi proses biokimiawi di perairan. Sebagian besar organisme akuatik kurang toleran terhadap perubahan pH dan lebih menyukai perairan dengan kisaran pH antara 6,5-8,5 (Metcalf dan Eddy, 2003).

Konsentrasi ion hydrogen (pH) pada umumnya memberikan pengaruh yang besar pada kecepatan pertumbuhan biomass. Secara umum pH operasi untuk proses pengolahan air limbah secara aerobik berkisar pada pH antara 6,5-7,2 (Slamet dan Masduqi, 2000).

2.17 Penelitian Terdahulu

Said (2005) telah melakukan penelitian tentang pengolahan air limbah industri pencucian jeans dengan proses biofilter anaerob-aerob menggunakan media *bioball* dengan waktu tinggal 48 jam didapatkan efisiensi penyisihan COD 80,5 %, BOD 87, 3% dan TSS 95 %, Penelitian tersebut menggunakan spesifikasi reaktor berbahan kaca diameter 6mm, tinggi media 50 cm, panjang 130 cm, lebar 25 cm, serta volume 195 liter. Menggunakan aerator dengan suplai udara 1,105 L/menit serta debit pompa sirkulasi 900 L/menit.

Kusuma (2013) melakukan penelitian tentang penurunan kadar BOD dan Amonia pada air limbah domestik menggunakan

teknologi biofilm dengan media filter bunga pinus, potongan bambu, dan bioball. Nilai Amonia pada setiap reaktor mengalami penurunan yang berbeda-beda. Pada reaktor 1 dengan media filter menggunakan potongan bambu mengalami penurunan tertinggi sebesar 63,37 mg/l. Kemudian pada reaktor kedua dengan media filter menggunakan bunga pinus mengalami penurunan tertinggi sebesar 37,86 mg/l. Sedangkan pada reaktor ketiga dengan media filter menggunakan bioball penurunan tertinggi sebesar 37,86 mg/l. Untuk BOD pada reaktor 1 dengan media filter menggunakan potongan bambu penurunan tertinggi 178,08 mg/l, pada reaktor 2 dengan media filter bunga pinus penurunan tertinggi 268,8 mg/l, dan pada reaktor 3 dengan media filter bioball penurunan tertinggi sebesar 591,36 mg/l. Pengaturan lamanya waktu tinggal selama penelitian mempengaruhi nilai konsentrasi BOD dan Amonia. Variasi waktu yang digunakan dalam penelitian yaitu 60 menit, 90 menit, 120 menit, 150 menit, 180 menit. Waktu tinggal yang paling efektif dalam menurunkan konsentrasi BOD dan Amonia adalah 180 menit.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Filiyati, dkk (2011), pengolahan limbah cair rumah makan dengan biofilter aerob dengan menggunakan media bioball dan tanaman kiambang (*Salvinia Molesta*) mampu menurunkan kandungan BOD tertinggi dengan efisiensi 68,98% dari kadar BOD awal sebesar 758,5 mg/l dan penurunan minyak lemak dengan efisiensi sebesar 96,60% dari kadar awal 5213 mg/l. Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan, kandungan BOD, minyak dan lemak yang telah diolah dengan biofilter aerob menggunakan media bioball dan tanaman kiambang masih di atas baku mutu Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No.112 Tahun 2003 untuk BOD sebesar 100 mg/L dan Minyak lemak sebesar 10 mg/L.

Penelitian yang telah dilakukan oleh Parwaningtyas, dkk (2013) perihal efisiensi teknologi fitobiofilm dalam penurunan kadar nitrogen dan fosfat pada limbah domestik dengan agen fitotreatment teratai dan media biofilter bioball didapatkan hasil bahwa waktu tinggal air limbah mempengaruhi nilai konsentrasi ammonia dan fosfat. Variasi waktu tinggal yang dilakukan yakni 3, 4, 5, 7, 10, dan 24 jam. Waktu tinggal yang paling efektif dalam penurunan ammonia dan fosfat terjadi pada waktu tinggal 24 jam. Penurunan konsentrasi ammonia adalah 5,23 mg/L menjadi 2,08

mg/L dimana besarnya penurunan sebesar 60,2%. Sama halnya dengan Konsentrasi fosfat dari 12,23mg/l menjadi 5,82 mg/L atau terjadi penurunan 52,38 %.

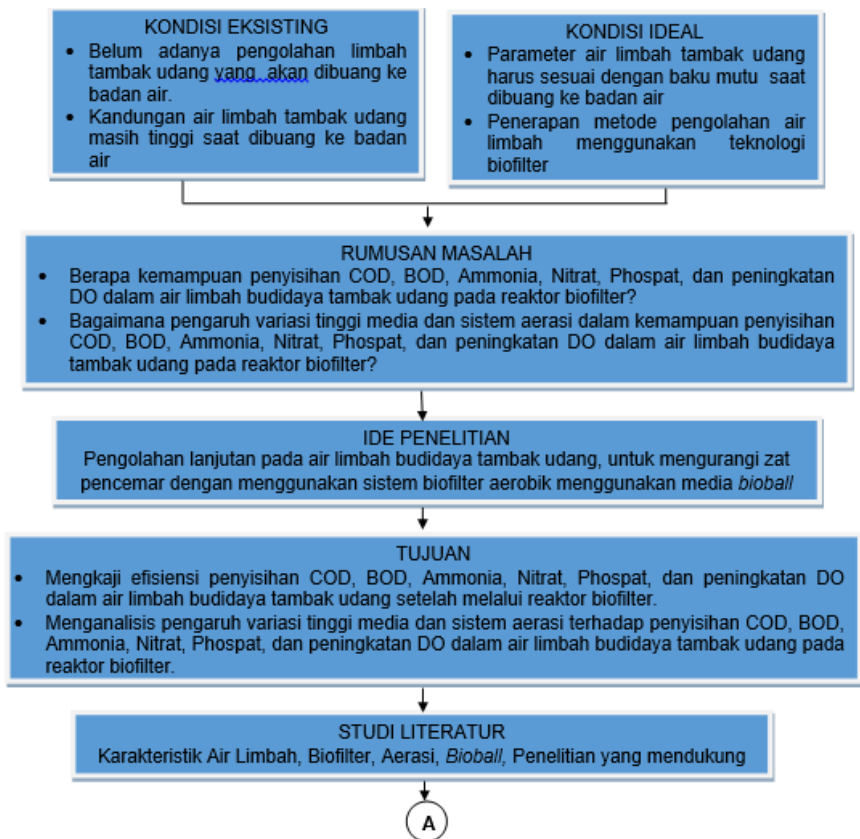
Soewondo dan Yulianto (2008) melakukan penelitian tentang efek aerasi terhadap reaktor biofilter aerob tercelup (*submerged aerobic biofilter*) untuk pengolahan limbah domestik. Sistem pengolahan bertujuan untuk membandingkan pengaruh aerasi terus menerus, aerasi selama 2 jam, dan aerasi selama 4 jam. Efisiensi removal COD dan amonium air limbah yang dilakukan secara intermiten atau aerasi secara kontinu dengan konsentrasi influen 300 mg/L COD dan 2,5 mg/l amoninum. Removal COD rata-rata untuk reaktor dengan sistem aerasi terus menerus, dua jam dan empat jam adalah 83%, 81% dan 87%. DO terendah terjadi dalam reaktor dengan sistem aerasi selama dua jam yaitu sekitar 4 mg/l. Sistem aerasi mempengaruhi efisiensi removal amonium. Efisiensi removal amonium untuk aerasi secara kontinu didapatkan hasil untuk aerasi terus menerus, dua jam dan empat jam adalah 75%, 61%, dan 60%.

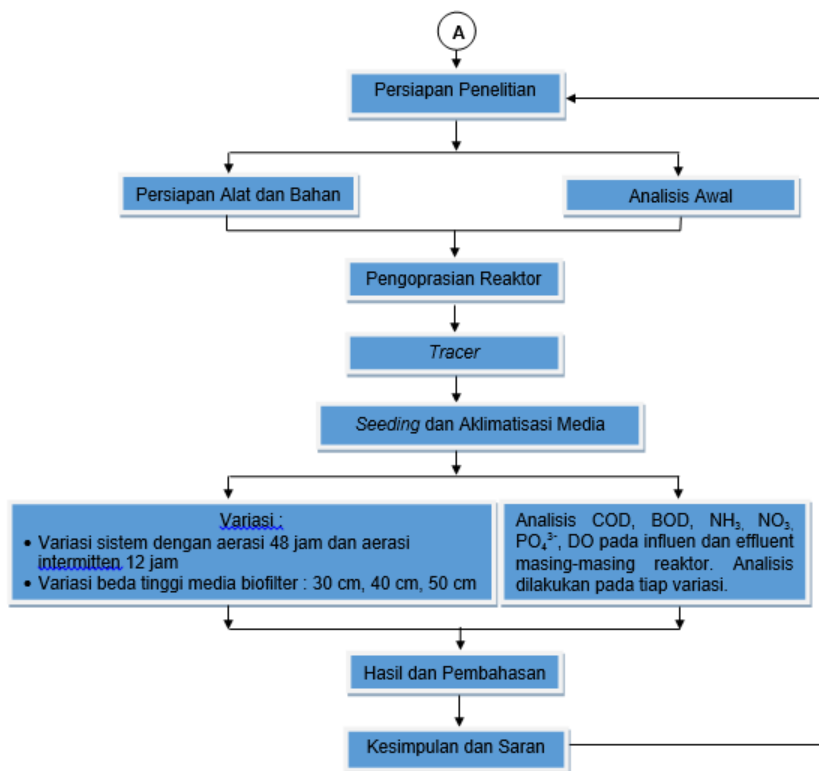
BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian ini merupakan dasar pemikiran dan langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian tugas akhir ini. Kerangka penelitian dapat memudahkan pelaksanaan tugas akhir sehingga berjalan terstruktur dan sistematis pada setiap tahapannya, selain itu dapat dianalisa pencapaian tujuan dan koreksi yang diperlukan. Skema kerangka penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1





Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

3.2 Langkah Penelitian

Langkah-langkah kegiatan penelitian yang akan dilakukan, yaitu meliputi :

3.2.1 Ide Penelitian dan Studi Literatur

Ide penelitian mengenai “Kajian Efek Aerasi Pada Kinerja Biofilter Aerob dengan Media *Bioball* untuk Pengolahan Limbah Budidaya Tambak Udang” dimana pengolahan air limbah diberlakukan secara aerobik dan pada penggunaan media biofilter digunakan media berupa *bioball* yang telah dibersihkan terlebih dahulu. Penelitian ini bertujuan untuk memperbaiki kualitas air

tambak udang vannamei (*Litopenaeus vannamei*) yang akan di buang ke badan air di Desa Cerme yang bermuara di Kali Lamong, Gresik.

Sumber literatur yang digunakan bertujuan sebagai sarana mendapatkan refrensi yang sesuai dengan ide penelitian yang akan dilakukan. Sumber literatur dapat berupa jurnal nasional dan internasional, *text book*, *proceeding* maupun tugas akhir yang berkaitan dengan penelitian ini. Studi literatur dapat menjadi acuan dalam memahami penelitian dari awal hingga penarikan kesimpulan.

3.2.2 Variabel dan Parameter Penelitian

1. Variabel Penelitian

- **Beda tinggi media biofilter**
Media yang digunakan adalah *bioball* dengan spesifikasi material yang terbuat dari PVC, berbentuk bola, berukuran ± 3 cm, berwarna hitam dengan luas spesifik $230 \text{ m}^2/\text{m}^3$ dan memiliki porositas rongga 0,92. Pemilihan beda tinggi media sebesar 30 cm, 40 cm, dan 50 cm didasarkan atas penelitian sebelumnya yang menggunakan ketinggian media sebesar 30 cm, 40 cm, dan 50 cm serta merupakan kategori tinggi yang optimal dalam suatu biofilter.
- **Sistem Aerasi**
Pengoprasian reaktor menggunakan prinsip dengan aerasi 48 jam dan aerasi intermitten 12 jam. Untuk proses aerasi digunakan aerator Resun AC9904 dengan spesifikasi volume udara yang di pompa 9 L/min dan tekanan udara 0,012 Mpa. Pemilihan aerator ini dikarenakan alat tersebut memiliki 6 *air outlets* sehingga lebih efisien karena dapat digunakan untuk 3 reaktor sekaligus. Selain itu spesifikasinya juga sudah memenuhi debit minimum kebutuhan aerator seperti halnya yang terlampir pada lampiran C. Selanjutnya ditambahkan *air stone* yang digunakan untuk memecah udara menjadi gelembung kecil dalam air dari aerator. *Air stone* yang digunakan berbahan dasar batu atau keramik. Sehingga distribusi udara dalam reaktor menjadi optimal karena daya jangkau udara dari aerator lebih luas dalam reaktor biofilter. Variasi lain yang dilakukan adalah penambahan dan tidaknya aerator pada

masing-masing reaktor biofilter aerob. Proses aerasi ini bertujuan untuk mengurangi konsentrasi polutan, misalnya senyawa organik dan mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme pada media.

Variasi reaktor yang dibuat berdasarkan parameter penelitian ditunjukkan pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Variasi Reaktor Berdasarkan Variabel Penelitian

Aerasi	Ketinggian Media	30 cm	40 cm	50 cm
Aerasi 48 jam				
Aerasi Intermitten 12 jam				

2. Parameter Penelitian

- Parameter yang akan diuji pada penelitian ini adalah COD, BOD, DO, Amonia (NH_3), Nitrat (NO_3), dan Phospat (PO_4^{3-}), Parameter-parameter tersebut harus sesuai dengan standar baku mutu saat akan dibuang ke badan air terdekat.

3.2.3 Persiapan Alat dan Bahan

Pada penelitian ini alat yang dibutuhkan meliputi :

- Reaktor kaca 0,8 inch
- Pipa PVC $\frac{1}{2}$ "
- Pompa
- Air Pump Resun AC9904
- Air Stone
- Water Pump
- pH meter
- Thermometer
- Selang bening 5/8"
- Valve
- Lem Kaca dan Lem Plastik
- Aksesoris pipa berupa L ; T

Bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah :

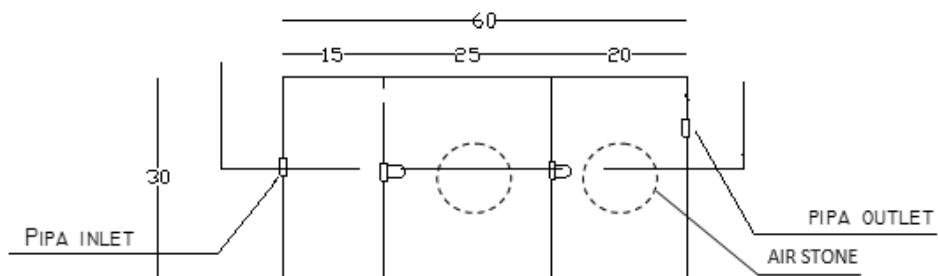
- Sampel air limbah budidaya tambak udang di Desa Cerme, Kabupaten Gresik
- Media *bioball* dengan diameter ± 3 cm
- Reagen dalam analisis COD

- Reagen dalam analisis BOD
- Reagen dalam analisis DO
- Reagen dalam analisis NH_3
- Reagen dalam analisis NO_3
- Reagen dalam analisis PO_4^{3-}
- Reaktor biofilter dengan spesifikasi bentuk persegi panjang dengan total reaktor sebanyak 3 buah . Reaktor ini memiliki tinggi media yang bervariasi yaitu 30 cm, 40 cm, serta reaktor dengan ketinggian media sebesar 50 cm. Reaktor biofilter ini terbuat dari kaca dan memiliki panjang 60 cm, lebar 30 cm dan tinggi 60 cm, *free board* 5 cm.

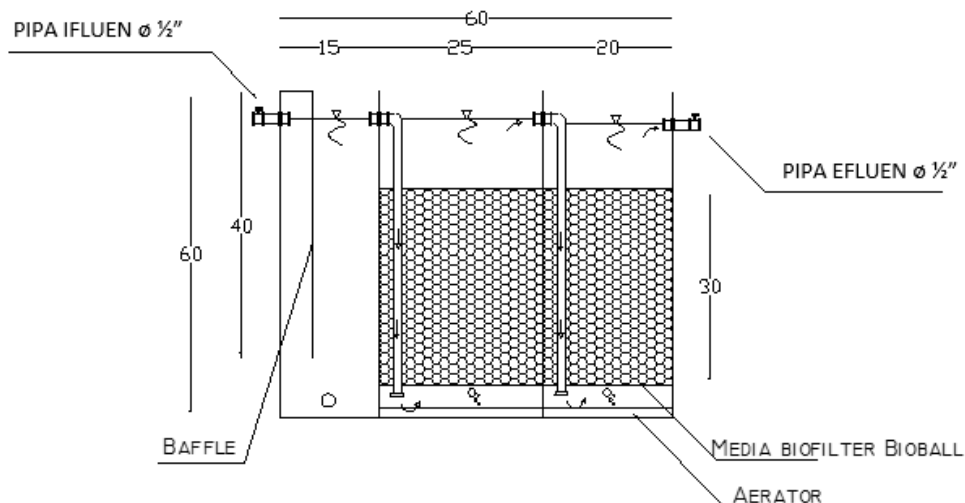
3.2.4 Penelitian Pendahuluan dan Pembuatan Reaktor

Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap parameter yang akan digunakan yaitu COD, BOD, DO, Amonia, Nitrat, Phospat, suhu, serta pH. Analisis ini dilakukan pada sampel *effluen* air limbah tambak udang. Penelitian pendahuluan dilakukan untuk membandingkan kondisi *effluen* air limbah tambak udang sebelum dan sesudah pengolahan sehingga diketahui penyisihan COD, BOD, Amonia, Nitrat, Phospat, peningkatan DO serta pengaruh suhu yang terjadi.

Bersamaan dengan penelitian pendahuluan, dilakukan pembuatan reaktor biofilter. Reaktor biofilter dibuat dengan persegi panjang dengan jumlah 3 reaktor yaitu reaktor dengan tinggi media 30 cm, reaktor dengan tinggi media 40 cm serta reaktor dengan tinggi media 50 cm. Reaktor ini terbuat dari kaca berukuran total 60 cm x 30 cm x 60 cm. terdapat tiga kompartemen untuk masing-masing reactor yaitu kompartemen 1 untuk bak pengendapan dengan panjang 15 cm, kompartemen 2 untuk media ketinggian 30 cm; 40 cm atau 50 cm dengan panjang 25 cm serta kompartemen 3 untuk media ketinggian 30 cm; 40 cm atau 50 cm dengan panjang 20 cm. Pada reaktor biofilter ini direncanakan waktu detensinya (td) adalah 48 jam. Sketsa reaktor dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3 Pada Gambar 3.3 ditunjukkan contoh potongan reaktor dengan ketinggian media 30 cm.



Gambar 3.2 Denah Reaktor



Gambar 3.3 Potongan A-A Reaktor

3.2.5 Aklimatisasi Media dan Seeding

Pengembangbiakan mikroorganisme atau disebut juga seeding dilakukan untuk menumbuhkan mikroorganisme. Seeding yang dilakukan adalah seeding secara alami dengan cara mengalirkan alir limbah domestik secara batch kedalam reaktor biofilm dan secara bersamaan aerator juga dinyalakan. Penggunaan air limbah domestik yakni air limbah IPLT Keputih Sukolilo dikarenakan air buangan ini kaya akan mikroorganisme dan telah mempunyai sumber karbon yang cukup sehingga

pertumbuhan mikroorganisme pada media akan menjadi cepat . Sementara itu pemberian tambahan karbon dari substrat dapat dilakukan sewaktu waktu tetapi tergantung dari kandungan COD Air limbah domestik apabila rendah maka substrat tidak diberikan setiap hari. Dalam proses ini dialirkan air limbah domestik secara terus menerus ke dalam reaktor biofilter yang telah terisi media bioball sampai terbentuknya lapisan biofilm pada media biofilternya selama ± 2 minggu selama percobaan. Selama proses pembiakan dilakukan pemberian oksigen secara terus menerus dengan menginjeksikan oksigen ke dalam reaktor agar proses oksidasi biologi oleh mikroba dapat berjalan dengan baik.

Proses seeding diamati setiap hari, apabila pada media terbentuk lapisan lendir yang berwarna hitam kecoklatan-coklatan serta tidak mudah terlepas dari media, maka dapat dipastikan bahwa telah tumbuh mikroorganisme pada media. Jika senyawa organik yang ada mulai pecah oleh aktivitas bakteri dan adanya oksigen terlarut direduksi menjadi nol, maka warna biasanya berubah menjadi semakin gelap.

Selama proses seeding, di dalam reaktor terjadi proses perkembangbiakan bakteri yang melewati fase awal yakni fase lag yaitu bakteri baru beradaptasi dengan lingkungan barunya. Setelah itu barulah memasuki fase penambahan biomassa bakteri yang dikenal dengan fase eksponensial. Proses seeding dalam penelitian ini berlangsung selama 2 minggu agar terbentuknya mikroorganisme pada media bioball, yang ditandai dengan lapisan lendir diatas permukaan bioball.

Proses *seeding* ini berjalan selama 2 minggu, dilanjutkan dengan proses aklimatisasi, yaitu proses pemberian limbah baru ke dalam reaktor biofilter, aklimatisasi dilakukan untuk mendapatkan suatu kultur mikroorganisme yang stabil dan dapat beradaptasi dengan air limbah tambak udang. Aklimatisasi adalah pengadaptasian mikroorganisme terhadap air buangan yang akan diolah. Pengadaptasian dilakukan dengan cara mengganti air limbah domestik secara perlahan dengan air limbah dari budidaya tambak udang. Lapisan biofilm yang terbentuk akan semakin menebal. Akhir dari aklimatisasi adalah ketika air buangan domestik telah 100 % tergantikan dengan air buangan budidaya tambak udang. Dengan kondisi waktu tinggal yang cukup kira kira 3 hari maka mikroorganisme dengan cepat akan berkembang biak

pada permukaan media bioball. Pertumbuhan mikroorganisme pada media dapat dilihat dari peningkatan efisiensi penghilangan COD.

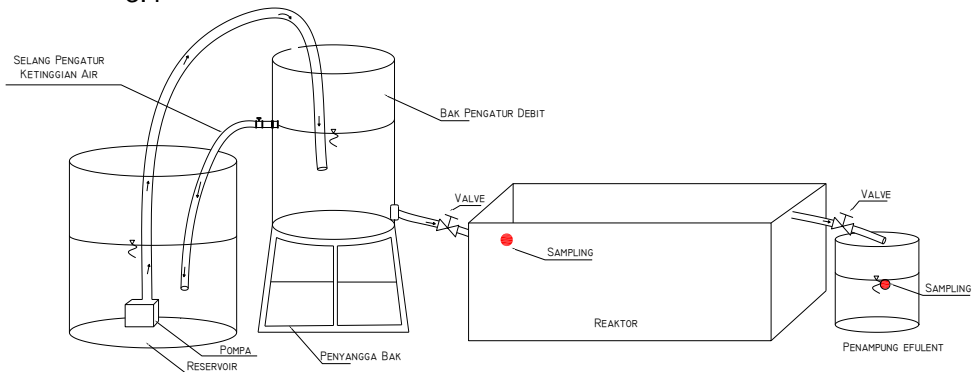
Efisiensi yang meningkat menunjukkan adanya aktivitas mikroorganisme yang semakin banyak dan mendegradasi senyawa organik yang ada di air limbah tambak udang. Untuk tahapan aklimatisasi dengan cara mengambil air limbah dari tambak udang dengan presentase 25%, 50%, 75%, dan 100% dan mengkombinasikannya dengan air limbah domestik. Selama proses pembiakan dilakukan pemberian oksigen secara terus menerus dengan menginjektikan oksigen ke dalam reaktor agar proses oksidasi biologi oleh mikroba dapat berjalan dengan baik. Proses aklimatisasi dilakukan untuk menghindari matinya bakteri yang telah di-*seeding* sebelumnya karena belum sempat beradaptasi dengan lingkungan baru. Proses aklimatisasi pada penelitian ini berlangsung selama 3 (tiga) hari, yaitu dengan cara mengalirkan air limbah tambak udang yang berada di reservoir ke dalam reaktor biofilter secara perlahan.

3.2.6 Pengoperasian Reaktor

Tiga reaktor yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu reaktor dengan ketinggian media bioball 30 cm; 40 cm dan 50 cm. Reaktor yang diberikan penambahan aerator, pada kompartemen yang berisi media bioball dengan panjang 30 cm dilakukan aerasi dengan aerator. Waktu tinggal (td) yang direncanakan adalah 48 jam. Pengoperasian reaktor biofilter aerob ini terbagi atas beberapa tahap. Dimana air limbah yang akan diolah ditampung terlebih dahulu. Pada pengoperasian reaktor, air limbah dipompa dari reservoir ke bak pengatur debit. Dalam reaktor ini ditambahkan tandon bawah dan juga pompa serta effluent ke tandon, agar tinggi air di tandon atas tetap sehingga diperoleh debit relatif konstan. Dari tandon atas, air limbah dialirkan menuju ke masing masing reaktor dan hasil pengolahannya ditampung di bak penampung effluent sehingga dapat dianalisis di laboratorium.

Pada penelitian kali ini dilakukan 2 kali periode *running* reaktor. Periode pertama dilakukan selama 14 hari dan periode kedua dilaksanakan sampai reaktor berada dalam kondisi *steady state* sehingga tidak bisa ditetapkan perihwal waktunya. Pada periode *running* yang pertama, reaktor biofilter aerob dilakukan

dengan aerasi selama 48 jam sementara untuk periode *running* yang kedua reaktor biofilter aerob diberikan perlakuan aerasi secara intermitten yakni 12 jam on dan 12 jam off. Analisis laboratorium dilakukan di influen dan effluent air limbah. Pengambilan sampel untuk analisis dilakukan setiap 2 hari sekali (NH_3 , NO_3 , dan PO_4^{3-}) dan 3 hari sekali untuk BOD_5 , DO, COD, dan pH. Skema pengoperasian reaktor dapat dilihat pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 Skema Pengoperasian Reaktor



Gambar 3.5 Proses *Running* Reaktor dengan Sistem Aerasi

3.2.7 Hasil dan Pembahasan

Rangkaian penelitian ini terdiri atas berbagai tahapan pengerjaan, dimulai dari persiapan alat dan bahan yaitu pembuatan reaktor, merangkai diagram alir pengolahan sehingga dapat dialiri secara kontinyu dan lingkungan dalam reaktor terjaga sebagai aerobik. Kemudian pengambilan air limbah dari Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT), Keputih yang digunakan dalam proses seeding serta air limbah budidaya tambak udang di Desa Cerme, Gresik dimana merupakan air limbah yang akan diolah dalam reaktor biofilter yang direncanakan.

Tahapan berikutnya merupakan tahapan penelitian, dimana dimulai dari penelitian pendahuluan yang terdiri atas pengujian karakteristik air limbah budidaya tambak udang, pengujian *Hydraulic Loading Rate* (HLR) untuk mengetahui waktu detensi aktual dari masing-masing reaktor yang direncanakan. Uji HLR dilakukan pada tiga reaktor dengan dimensi yang sama, dengan variasi ketinggian media dan debit yang direncanakan. Dilanjutkan proses *seeding* dan aklimatisasi, sebagai proses peningkatan jumlah dan proses adaptasi mikroorganisme dalam pengolahan air limbah. Tahapan utama dalam penelitian ini adalah pengujian tingkat efisiensi reaktor biofilter aerobik pada pengolahan air limbah budidaya tambak udang terhadap efisiensi reaktor.

A. Tahap Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan metode observasi antara lain :

1. Analisis kualitas air limbah awal, meliputi parameter BOD₅ terlarut, COD, ammonia, nitrat, DO, dan Phospat.
2. Prosedur pengoperasian reaktor biofilter adalah sebagai berikut:
 - Mengetahui konsentrasi influen air limbah yang masuk ke dalam reaktor dengan menggunakan valve sesuai dengan debit yang direncanakan yaitu sebesar 49,5 L/hari atau 33,5 ml/menit. Media biofilter yang digunakan dalam penelitian ini adalah media bioball berdiameter ± 3 cm.
 - Effluen dari masing - masing reaktor biofilter (Reaktor dengan ketinggian media 30 cm, 40 cm, dan 50 cm) diambil dan dianalisis sesuai dengan parameter yang diukur secara

berkala. Pengukuran parameter dilakukan dengan analisis sebelum dan sesudah pengolahan.

- Analisis data dan pembahasan dilakukan dengan memperhatikan kondisi influen dan effluen air yang diuji. Parameter yang diuji adalah COD, BOD, DO, NH_3 , NO_3 , PO_4^{3-} dan suhu air limbah. Hasil yang diharapkan adalah terjadi penurunan konsentrasi COD, BOD, NH_3 , NO_3 , PO_4^{3-} , dan peningkatan DO dengan variasi ketinggian media dalam reaktor serta penambahan aerator. Metode yang digunakan dalam analisis effluen adalah :

1. Analisis PV (*Permanganate Value*)

Analisis PV sesuai dengan SNI 06-6989.22-2004 dimana Analisis PV dilakukan dengan prinsip titrasi permanganat. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai permanganat yang dibutuhkan dalam mengoksidasi zat organik yang ada di dalam air limbah seperti yang terlampir dalam lampiran A.

2. Analisis Nitrogen-Nitrat

Analisis Nitrat sesuai dengan SNI 06-2480-1991 dimana Nitrogen-nitrat dianalisis dengan menggunakan *Brucine Acetate* dan dilakukan pembacaan nilai absorbansinya menggunakan spektrofotometer visual. Pada analisis ini dilakukan pembuatan reagen dan kurva kalibrasinya terlebih dahulu seperti yang terlampir dalam lampiran A.

3. Analisis Nitrogen-Ammonia

Analisis Ammonia sesuai dengan SNI 06-6989.30-2005 dimana Nitrogen-ammonia dianalisis dengan menggunakan *Nesslerization Method* yang dilakukan dengan pembacaan nilai absorbansinya menggunakan spektrofotometer visual. Pada analisis ini dilakukan pembuatan reagen dan kurva kalibrasinya terlebih dahulu. Analisis nitrogen dalam bentuk ammonia dan nitrat dilakukan untuk menganalisis proses nitrifikasi dan denitrifikasi yang terjadi di dalam reaktor seperti yang terlampir dalam lampiran A.

4. Analisis Phospat

Analisis Phospat sesuai dengan SNI 06-6989.31-2005 dimana Phospat dianalisis dengan menggunakan Ammonium Molybdate dan SnCl_2 yang dilakukan dengan

pembacaan nilai absorbansinya menggunakan spektrofotometer visual. Pada analisis ini dilakukan pembuatan reagen dan kurva kalibrasinya terlebih dahulu. Analisis fosfat dilakukan untuk menganalisis konsentrasi fosfat yang terdapat di dalam reaktor seperti yang terlampir dalam lampiran A.

5. Analisis COD (*Chemical Oxygen Demand*)
Analisis COD sesuai dengan SNI 06-6989.2:2009 dimana analisis COD dilakukan dengan prinsip *Closed Reflux* dengan melalui oksidasi oleh larutan $K_2Cr_2O_7$ dalam keadaan asam. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui penurunan substrat seperti yang terlampir dalam lampiran A.
6. Analisis BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)
Analisis BOD_5 sesuai dengan SNI 6989.72:2009 menggunakan prinsip winkler, yaitu reaksi oksidasi zat organik dengan oksigen yang terkandung dalam air oleh mikroorganisme. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui tingkat biodegradasi air limbah budidaya tambak udang seperti yang terlampir dalam lampiran A.
7. Analisis DO (*Dissolve Oxygen*)
Analisis DO sesuai dengan SNI 06-6989.14-2004 menggunakan prinsip winkler, yaitu reaksi oksidasi zat organik dengan oksigen yang terkandung dalam air oleh mikroorganisme. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui tingkat konsentrasi oksigen terlarut dalam air limbah budidaya tambak udang seperti yang terlampir dalam lampiran A.
8. Analisis Suhu
Analisis suhu diukur dengan menggunakan thermometer seperti yang terlampir dalam lampiran A.
9. Analisis pH
Analisis nilai pH diukur dengan menggunakan *Electrometric Method* (pH meter) dengan menggunakan alat *Basic pH meter-03771 Denver Instrument* seperti yang terlampir dalam lampiran A.

b. Metode Analisis Data

Hasil pengamatan akan dianalisis secara grafik dan dijelaskan untuk mengetahui seberapa besar efisiensi removal air limbah budidaya tambak udang dari masing-masing reaktor yang memiliki ketinggian media yang berbeda. Metode grafik dijadikan sebagai acuan dalam melihat penurunan dari parameter yang diamati.

3.3 Lokasi

Lokasi pengambilan sampel berada di kawasan budidaya perairan tambak udang vannamei (*Litopenaeus vannamei*) desa Cerme, Kabupaten Gresik. Sementara itu untuk *running* reaktor dilakukan di Workshop Air Limbah Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS Surabaya dan untuk pengujian *influen* dan *effluen* air limbah pada reaktor biofilter dilakukan analisa di Laboratorium Pemulihan Air Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS Surabaya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Waktu Tinggal Reaktor

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui waktu aktual limbah dimana dalam uji ini menggunakan air keran saat melalui reaktor yang direncanakan, serta mengetahui aliran air di dalam reaktor. Pengujian ini dilakukan menggunakan campuran air dengan *tracer* warna. Hal ini berguna untuk mengetahui gerak air dimulai dari inlet hingga keluar dari outlet reaktor. *Tracer* warna yang digunakan merupakan larutan KMnO_4 .

Waktu detensi aktual reaktor dapat diketahui dengan mengetahui keadaan dimana konsentrasi KMnO_4 mencapai kondisi stabil. Hal pertama yang perlu dilakukan adalah menentukan konsentrasi KMnO_4 yang digunakan sebagai larutan influen. Pengujian ini menggunakan metode spektrofotometri dengan panjang gelombang tertentu. Penentuan waktu detensi reaktor dilakukan dengan menghitung hidrolik masing - masing yang telah diuraikan dalam lampiran.

4.2 Uji Pendahuluan

Uji pendahuluan dilakukan sebelum melakukan penelitian pada air limbah yang akan digunakan pada penelitian. Uji pendahuluan ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi awal air limbah yang meliputi nitrogen dalam bentuk ammonia dan nitrat kemudian BOD_5 , COD, serta fosfat yang akan diuji pada proses penelitian. Dengan adanya uji pendahuluan ini maka akan diketahui konsentrasi nutrient serta polutan dalam air limbah tersebut memenuhi baku mutu atau tidak sehingga layak dilakukan pengolahan.



Gambar 4.1 Lokasi Tambak Udang Vannamei di Desa Cerme, Gresik

Uji pendahuluan dilakukan pada air limbah *outlet* Tambak Udang *Litopenaeus vannamei* Desa Cerme, Gresik. Berikut ini tabel kandungan nutrisi serta parameter yang akan diuji menurut hasil uji pendahuluan yang dilakukan :

Tabel 4.1. Hasil Uji Pendahuluan Air Limbah

Komposisi	Konsentrasi (mg/l)	Baku Mutu Kepmen. Kelautan dan Perikanan No: KEP.28/MEN/2004	Keterangan
COD	331,08	-	-
BOD₅	294	< 45 mg/l	Tidak Memenuhi
DO	4.2	-	-
Ammonia	3.35	< 0,1 mg/l	Tidak Memenuhi
Nitrat	13.82	<75 mg/l	Tidak Memenuhi
Phosfat	6.37	< 0,1 mg/l	Tidak Memenuhi
pH	8.39	6 – 9,0	Memenuhi

Keterangan :

(-) = tidak tertulis dalam baku mutu effluent air limbah Kepmen. Kelautan dan Perikanan No: KEP.28/MEN/2004

Menurut hasil uji pendahuluan yang dilakukan pada air limbah budidaya tambak udang tersebut konsentrasi BOD₅, ammonia, nitrat, dan fosfat melebihi baku mutu menurut Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor: KEP. 28/MEN/2004 Tentang Pedoman Umum Budidaya Udang di Tambak sehingga memerlukan suatu pengolahan lebih lanjut sebelum dibuang ke badan air terdekat, yakni Kali Lamong.



Gambar 4.2 Air Tambak Udang *Litopenaeus vannamei*
Desa Cerme, Gresik.

4.3 **Tracer (Menentukan pola aliran cairan dalam reaktor)**

Dalam menentukan pola aliran yang terjadi dalam reaktor biofilter yang terisi media bioball dapat digunakan injector berupa larutan penjejak. Pemilihan KMnO₄ dikarenakan dapat membantu mengetahui laju alir air limbah dengan perubahan warna dan tidak bersifat toxic bagi media biofilter yaitu bioball. Tahapan proses untuk percobaan tersebut diuraikan lebih lanjut di Lampiran A.



Gambar 4.3 Tahapan Proses *Tracer* Pada Reaktor Biofilter



Gambar 4.4 Tahapan Proses *Tracer* Pada Reaktor Biofilter Setelah KMnO_4 Merata di Reaktor

4.4 **Seeding dan Aklimatisasi**

Sebelum digunakan untuk penelitian, pada media bioball terlebih dahulu dilakukan proses seeding dan aklimatisasi. Menurut Yahya (2010), tujuan dilakukan seeding selain untuk membenihkan mikroorganisme supaya media mampu melakukan oksidasi pada zat pencemar organik pada air limbah tersebut agar dikondisikan beradaptasinya dengan lingkungan awal tempat berkembangbiaknya mikroorganisme yang akan di ujikan di reaktor

Proses pembentukan biofilm melalui waktu-waktu tertentu. Pada hitungan detik awal, bakteri mengalami pengendapan yang berubah-ubah. Terdapat bakteri yang mengendap dan ada pula yang terbawa arus. Dalam hitungan detik hingga menit, bakteri yang terbawa arus selanjutnya melekat pada substrat dan tidak dapat berpindah karena terdapat ikatan yang kuat dengan substrat. Dalam hitungan jam hingga hari terjadi pertumbuhan dan pembelahan sel bakteri. Dalam hitungan jam hingga hari selanjutnya terjadi produksi eksopolimer dan mulai terbentuknya biofilm. Dalam hitungan hari hingga bulan, terjadi pelekatan organisme lain pada biofilm (Center of Biofilm Engineering, 2012).

Seeding dilakukan untuk membentuk biofilm pada media bioball. Seeding dilakukan dengan cara mengambil air limbah IPLT Keputih, Sukolilo, selanjutnya masukkan bersama dengan media bioball ke dalam reaktor biofilter selama 14 hari. Pengambilan waktu seeding dalam waktu 14 hari itu dimaksudkan agar tepat

dengan waktu proses pematangan biofilm tahap akhir, mikroba siap untuk menyebar dan berkolonisasi di tempat lain. Sehingga diperoleh biofilm dalam kondisi *steady state* pada air limbah.



Gambar 4.5 Pengambilan air di Unit Pengolahan Oxidation Ditch IPLT Keputih

Aklimatisasi dilakukan untuk mendapatkan suatu kultur yang bagus dan mikroorganisme yang mampu beradaptasi dengan air buangan limbah yang akan diolah (Yahya, 2010). Aklimatisasi dilakukan pada air limbah budidaya tambak udang dalam reaktor sama seperti waktu seeding. Pengadaptasian dilakukan dengan cara mengganti air limbah domestik secara perlahan dengan air limbah tambak udang. Lapisan biofilm yang terbentuk perlahan semakin menebal. Akhir dari aklimatisasi adalah ketika air IPLT telah 100 % tergantikan dengan air limbah budidaya tambak udang dan efisiensi penurunan konsentrasi PV cukup tinggi dan stabil. Tahapan proses aklimatisasi dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4.2 : Tahapan Aklimatisasi

Tahapan	Air Limbah Domestik (%)	Air Limbah Budidaya Tambak Udang (%)
Tahap I	100	0
Tahap II	75	25
Tahap III	50	50
Tahap IV	25	75
Tahap V	0	100

Variasi percobaan dilakukan dengan proses biofilter tanpa pengaturan pH, dan dilakukan pada kondisi kamar. Skema proses percobaan pertama dapat dilihat seperti pada gambar 3.4.

Pegambilan contoh (sampling) dilakukan pada titik-titik tertentu yang kemudian akan di analisa parameternya. Titik pengambilan contoh adalah sebagai berikut.

- Titik 1 : Influen yang ditampung dalam kompartemen 1 yakni di bak pengendap
- Titik 2 : Efluent reaktor

Pengambilan sampel dilakukan ketika kondisi reaktor telah stabil. Penentuan kondisi stabil dilakukan dengan mengukur kandungan organik yakni PV (*Permanganat Value*) pada setiap titik sampling tersebut.

4.5 Hasil Penurunan Konsentrasi Zat Organik

Hasil analisis sampel pada beberapa titik sampling masing-masing reaktor biofilter menunjukkan *removal* atau pendegradasian konsentrasi zat organik. Zat organik yang dimaksud adalah *Permanganat Value* (PV), *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biological Oxygen Demand* (BOD).

Hasil Percobaan

Secara garis besar, kegiatan yang dilakukan dalam penelitian ini terbagi atas 3 tahapan kegiatan, yaitu tahap seeding (pembenihan), aklimatisasi, dan tahap penelitian berdasarkan waktu tinggal hidrolis (WTH) yang telah direncanakan yakni 48 jam. Percobaan meliputi tahap *seeding*, tahap aklimatisasi, kinerja biofilter dalam efisiensi penyisihan COD, BOD, Ammonia, Nitrat, Phospat, serta peningkatan DO. Sebelum penelitian dilaksanakan, terlebih dahulu dilakukan penelitian pendahuluan terhadap limbah budidaya tambak udang untuk mengetahui karakteristik limbah tersebut. Secara umum karakteristik limbah budidaya tambak udang dapat dilihat pada Tabel 4.1.

4.5.1 Penurunan Konsentrasi PV

a. Hasil Pembiakan Mikroba (*Seeding*)

Seeding atau disebut juga sebagai pembiakan mikroba merupakan langkah awal dari penelitian reaktor biologis. Dalam

tahapan ini dilakukan upaya untuk menumbuhkan mikroorganisme pada media penyokong. Mikroorganisme ini sangat berperan penting dalam proses pengolahan secara biologis. Di dalam penelitian ini, seeding dilakukan secara alami, yaitu dengan langsung membiakkan mikroorganisme di dalam reaktor dengan cara mengalirkan air limbah IPLT Keputih Surabaya secara kontinyu ke dalam reaktor. Air limbah dari IPLT ini dipilih karena air limbah ini kaya akan sumber karbon yang diperlukan mikroorganisme untuk hidup, selain itu di dalam air tersebut juga sudah terkandung berbagai mikroorganisme. Dengan demikian, proses pembiakan tidak memerlukan waktu terlalu lama. Walaupun demikian, sumber karbon yang diperlukan tetap dijaga dengan sesekali memberikan penambahan substrat.

Dalam proses seeding ini air limbah domestik yang memang telah banyak mengandung bakteri dialirkan secara kontinyu kedalam reaktor biofilter dan secara bersamaan aerator juga dijalankan. Setelah lapisan lendir atau biofilm telah tumbuh maka dapat dilakukan proses aklimatisasi. Di dalam penelitian ini proses seeding dilakukan dengan waktu tinggal hidrolis di dalam reaktor 336 jam (14 hari). Dengan kondisi waktu tinggal yang cukup didalam reaktor maka mikroorganisme dengan cepat berkembangbiak dan melekat pada permukaan media bioball.

Pertumbuhan mikroorganisme pada media dapat dilihat dari peningkatan efisiensi penurunan PV. Efisiensi yang meningkat menunjukkan adanya aktifitas mikroorganisme yang telah tumbuh semakin banyak dan mendegradasi senyawa organik yang ada didalam air buangan tersebut. Dalam hal ini VSS tidaklah menjadi parameter utama karena proses seeding pada reaktor biofilter aerob ini dilakukan secara langsung pada reaktor dan mikroorganisme yang ada langsung melekat pada media membentuk lapisan biofilm. Hasil *seeding* dapat dilihat seperti pada Gambar 4.11 berupa terbentuknya biofilm dan diuraikan dalam tabel 1-3 pada lampiran B. Sementara itu proses *seeding* pada reaktor diuraikan dalam gambar 4.6 dan analisis laboratorium untuk Permanganate Value ditampilkan pada gambar 4.7 dibawah ini. Analisis Permanganate Value dilakukan dengan prinsip titrasi permanganate sesuai dengan yang telah diuraikan dalam lampiran A.



Gambar 4.6 Proses *Seeding* Pada Reaktor Biofilter



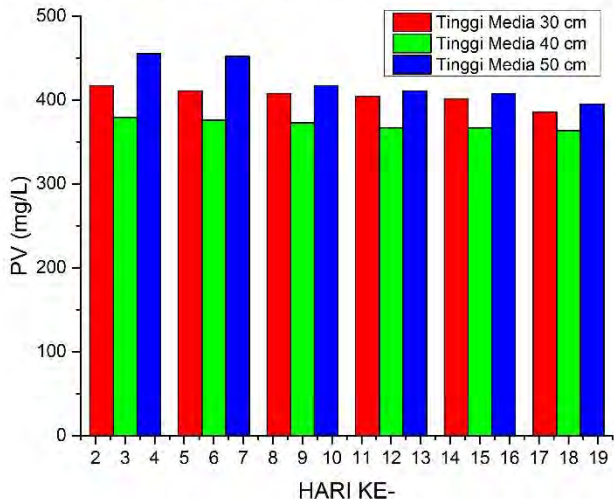
Gambar 4.7 Analisis Permanganat Value

Kinerja reaktor 30 cm dalam mendegradasi PV berada pada rentang 9% hingga 16%. Removal tertinggi untuk reaktor 30 cm dicapai pada hari ke-18 yaitu mencapai 16%. Pada rentang hari ke-18 terjadi kenaikan % removal yang tidak signifikan yaitu dari 9% menjadi 16% (kenaikan 7%). Hal ini dikarenakan mulai terbentuknya biofilm yang mengandung mikroorganisme pengurai polutan walaupun dalam jumlah yang tidak terlalu besar. Reaktor 30 cm mencapai *steady state* atau tercapainya kinerja optimum yaitu pada hari ke-14 berkisar pada 16% pendegradasian PV.

Pada reaktor 40 cm kinerja reaktor dalam mendegradasi PV berada pada rentang 17% hingga 21%. Removal tertinggi untuk reaktor 40 cm dicapai pada hari ke-18 yaitu mencapai 21%. Pada rentang hari ke-18 terjadi kenaikan % removal yang tidak signifikan yaitu dari 17% menjadi 21% (kenaikan 4%). Hal ini dikarenakan

mulai terbentuknya biofilm yang mengandung mikroorganisme pengurai polutan walaupun dalam jumlah yang tidak terlalu besar. Reaktor 40 cm mencapai *steady state* atau tercapainya kinerja optimum yaitu pada hari ke-14 berkisar pada 21% pendegradasian PV.

Konsentrasi PV Proses Seeding Pada Efluen Reaktor Biofilter Aerobik

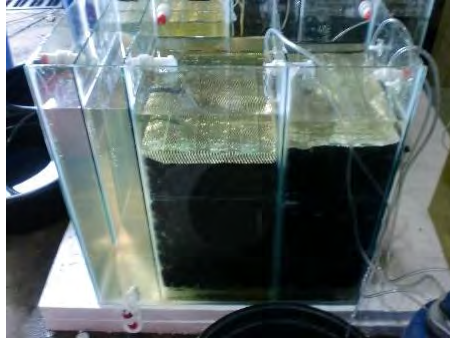


Gambar 4.8 Konsentrasi PV dalam Proses *Seeding*

Pada reaktor 50 cm kinerja reaktor dalam mendegradasi PV berada pada rentang 1% hingga 14%. Removal tertinggi untuk reaktor 50 cm dicapai pada hari ke-18 yaitu mencapai 14%. Pada rentang hari ke-18 terjadi kenaikan % removal yang cukup signifikan yaitu dari 1% menjadi 14% (kenaikan 13%). Hal ini dikarenakan mulai terbentuknya biofilm yang mengandung mikroorganisme pengurai polutan dalam jumlah yang cukup besar. Reaktor 50 cm mencapai *steady state* atau tercapainya kinerja optimum yaitu pada hari ke-14 berkisar pada 14% pendegradasian PV.

Sementara itu dilakukan tahapan selanjutnya dalam penelitian ini yakni proses aklimatisasi dimana pada prosesnya merupakan pengadaptasian mikroorganisme pengurai dengan air

limbah yang direncanakan untuk diolah dalam reaktor yakni air limbah budidaya tambak udang. Proses aklimatisasi dilakukan dengan cara mengalirkan air IPLT dengan air limbah budidaya tambak udang sesuai dengan perlakuan serta prosentase yang telah diuraikan sebelumnya.



Gambar 4.9 Proses Aklimatisasi Pada Reaktor Biofilter

Untuk memastikan perlakuan tinggi media dimana memberikan hasil yang berbeda pada parameter yang di analisis dilakukan pengujian *One Way Anova*. Dikatakan ada perbedaan apabila signifikansi uji $F < 0.05$. Jika terdapat perbedaan antar kelompok dilanjutkan dengan uji Duncan. Jika tingkat signifikansi uji Duncan < 0.05 maka ada perbedaan antar pasangan kelompok.

Penulisan notasi pada kolom tinggi media merepresentasikan variasi tinggi media yang dilakukan yakni 30 cm = a, 40 cm = b, dan 50 cm = c. Sehingga setelah dilakukan uji Duncan didapatkan hasil berupa apakah ada perbedaan antar pasangan kelompok atau tidak.

Table 4.3 Uji Anova Penyisihan PV

TINGGI MEDIA	MEAN	STANDART DEVIATION	SIG. F
30 cm ^{ac}	11.67	2.42	0.000
40 cm ^b	19.17	1.47	
50 cm ^{ac}	7.67	5.43	

Dari hasil diatas dapat dilihat bahwa reaktor manakah yang paling baik dalam menghasilkan removal tertinggi dalam penyisihan PV adalah reaktor dengan tinggi media 40 cm, dilanjutkan reaktor dengan tinggi media 30 cm, dan reaktor dengan tinggi media 50 cm.

Table 4.4 Uji Duncan Penyisihan PV

TINGGI MEDIA	N	1	2
50 cm	6	7.667	
30 cm	6	11.667	
40 cm	6		19.167

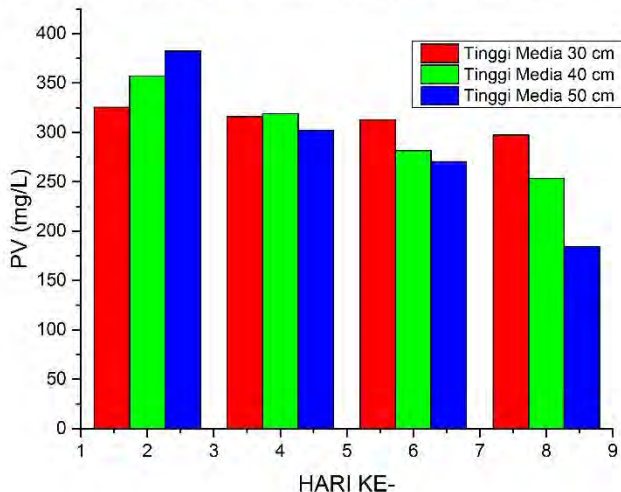
Hasil pengujian Anova diperoleh tingkat signifikansi 0.000 yang berarti ada perbedaan antar reaktor dalam penyisihan PV. Oleh karena ada perbedaan antar reaktor dilanjutkan dengan uji Duncan. Hasil pengujian Duncan menunjukkan antara reaktor dengan tinggi media 30 cm dan 50 cm tidak ada beda signifikan tetapi pada reaktor dengan tinggi media 30 cm dan 40 cm , dan reaktor dengan tinggi media 40 dan 50 ada beda signifikan dalam penyisihan PV.

Setelah dilakukan proses *seeding* dan aklimatisasi didapatkan kultur berupa selaput lendir yang terdapat dalam media bioball di masing – masing reaktor dimana telah diuraikan dalam lampiran. Dalam pelaksanaannya, penampakan fisik dari biofilm memang tidak terlihat jelas. Mengingat padatnya kerapatan antar media bioball sehingga kita tidak dapat melihat biofilm yang di reaktor bagian dalam.

Perkembangan biofilm pada biofilter dapat kita pantau dari hasil analisis penurunan PV dimana merupakan indikasi bahwa biofilm telah terbentuk dan berkembang. Efisiensi removal dari PV pada proses ini memang tidak terlalu tinggi, tetapi biofilm akan kembali menebal dan menyebabkan mikroorganisme yang terkandung didalamnya juga semakin meningkat pada proses *running* yang merupakan tahap selanjutnya dalam penelitian ini. Hasil aklimatisasi dapat dilihat seperti pada Gambar 4.11 berupa terbentuknya biofilm dan diuraikan dalam tabel 4-6 pada lampiran

B. Sementara itu proses aklimatisasi pada reaktor diuraikan dalam gambar 4.9 dan analisis laboratorium untuk Permanganate Value ditampilkan pada gambar 4.7. Analisis Permanganate Value dilakukan dengan prinsip titrasi permanganate sesuai dengan yang telah diuraikan dalam lampiran A.

Konsentrasi PV Proses Aklimatisasi Pada Efluen Reaktor Biofilter Aerobik



Gambar 4.10 Konsentrasi PV dalam Proses Aklimatisasi

Kinerja reaktor 30 cm dalam mendegradasi PV dalam proses aklimatisasi berada pada rentang 29% hingga 35%. Removal tertinggi untuk reaktor 30 cm dicapai pada hari ke-8 yaitu mencapai 35%. Pada rentang hari ke-8 terjadi kenaikan % removal yang tidak signifikan yaitu dari 29% menjadi 35% (kenaikan 6%). Hal ini dikarenakan biofilm yang sudah terbentuk sebelumnya mengalami penebalan sehingga meningkatkan kinerja biofilter dalam menguraikan polutan pada air limbah yang akan diolah yakni air limbah tambak udang. Reaktor 30 cm mencapai *steady state* atau tercapainya kinerja optimum yaitu pada hari ke-8 dan berkisar pada 35% pendegradasian PV.

Pada reaktor 40 cm kinerja reaktor dalam mendegradasi PV dalam proses aklimatisasi berada pada rentang 22% hingga 45%.

Removal tertinggi untuk reaktor 40 cm dicapai pada hari ke-8 yaitu mencapai 45%. Pada rentang hari ke-8 terjadi kenaikan % removal yang cukup signifikan yaitu dari 22% menjadi 45% (kenaikan 23%). Hal ini dikarenakan biofilm yang sudah terbentuk sebelumnya mengalami penebalan sehingga meningkatkan kinerja biofilter dalam menguraikan polutan pada air limbah yang akan diolah yakni air limbah tambak udang. Reaktor 40 cm mencapai *steady state* atau tercapainya kinerja optimum yaitu pada hari ke-8 dan berkisar pada 45% pendegradasian PV.

Pada reaktor 50 cm kinerja reaktor dalam mendegradasi PV dalam proses aklimatisasi berada pada rentang 17% hingga 60%. Removal tertinggi untuk reaktor 50 cm dicapai pada hari ke-8 yaitu mencapai 60%. Pada rentang hari ke-8 terjadi kenaikan % removal yang tidak signifikan yaitu dari 17% menjadi 60% (kenaikan 43%). Hal ini dikarenakan biofilm yang sudah terbentuk sebelumnya mengalami penebalan sehingga meningkatkan kinerja biofilter dalam menguraikan polutan pada air limbah yang akan diolah yakni air limbah tambak udang. Reaktor 50 cm mencapai *steady state* atau tercapainya kinerja optimum yaitu pada hari ke-8 dan berkisar pada 60% pendegradasian PV.

Untuk memastikan perlakuan tinggi media dimana memberikan hasil yang berbeda pada parameter yang di analisis dilakukan pengujian *One Way Anova*. Dikatakan ada perbedaan apabila signifikansi uji $F < 0.05$. Jika terdapat perbedaan antar kelompok dilanjutkan dengan uji Duncan. Jika tingkat signifikansi uji Duncan < 0.05 maka ada perbedaan antar pasangann kelompok.

Penulisan notasi pada kolom tinggi media merepresentasikan variasi tinggi media yang dilakukan yakni 30 cm = a, 40 cm = b, dan 50 cm = c. Sehingga setelah dilakukan uji Duncan didapatkan hasil berupa apakah ada perbedaan antar pasangan kelompok atau tidak.

Table 4.5 Uji Anova Penyisihan PV

TINGGI MEDIA	MEAN	STANDART DEVIATION	SIG. F
30 cm ^{abc}	31.75	2.5	0.760

TINGGI MEDIA	MEAN	STANDART DEVIATION	SIG. F
40 cm ^{abc}	31	7.39	
50 cm ^{abc}	31.75	12.31	

Dari hasil diatas dapat dilihat bahwa reaktor manakah yang paling baik dalam menghasilkan removal tertinggi dalam penyisihan PV adalah reaktor dengan tinggi media 50 cm dan reaktor dengan tinggi media 30 cm, kemudian dilanjutkan oleh reaktor dengan tinggi media 40 cm.

Hasil pengujian Anova diperoleh tingkat signifikansi 0.760 yang berarti tidak ada perbedaan antar reaktor dalam penyisihan PV. Oleh karena tidak ada perbedaan antar reaktor tidak perlu dilanjutkan dengan uji Duncan. Hasil pengujian Duncan menunjukkan antara reaktor dengan tinggi media 30 cm dan 40 cm, 40 dan 50 , dan 30 dan 50 tidak ada beda signifikan dalam penyisihan PV.

Biofilter adalah suatu alat yang dilengkapi dengan suatu media penyangga (*support material*) yang berfungsi sebagai tempat pertumbuhan mikroorganisme yang ditandai dengan terbentuknya lapisan biofilm pada permukaan media penyangga. Bioreaktor ini salah satu bentuk *packed bed reactor* yang didalamnya terjadi proses pertumbuhan melekat.

Reaktor dengan sistem pertumbuhan melekat diciptakan dengan pertimbangan untuk mendapatkan konsentrasi mikroorganisme yang tinggi. Dengan sistem ini diharapkan agar mikroorganisme tumbuh dan berkembang biak pada media yang ada sehingga biofilm akan mempunyai umur yang panjang dan hanya sedikit mikroorganisme yang terbawa keluar.

Tujuan utama pengaplikasian reaktor *attached growth* pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut :

- Media yang seluruhnya terendam (*fully submerged media*) digunakan untuk mengatasi masalah keringnya biofilm pada bioball, terutama pada reaktor yang digunakan di daerah yang beriklim panas seperti halnya di Indonesia.
- Media penyangga yakni bioball yang bersifat statis sehingga hemat energi penggerak (*driving energy*). Koloni

mikroba melekat pada permukaan media yang terendam. Mengingat penyerapan substrat dalam sistem pertumbuhan melekat merupakan fenomena yang berhubungan dengan luas permukaan bidang serap, maka media penyangga yang digunakan harus memungkinkan mikroba melekat di seluruh luas selimut luar dan dalam media tersebut.

Pada biofilter ini berlangsung sistem *up flow* dan *down flow* dimana pada proses *seeding* dan aklimatisasi dilakukan pada aliran *batch* dan aliran *continuu* pada proses *running* reaktor. Reaktor dengan tipe *fixed bed* atau reaktor lekat diam terendam ini dioperasikan secara *upflow* (aliran ke atas) dan *down flow* (aliran ke bawah) tanpa resirkulasi efluen. Pada reaktor dengan sistem *upflow*, substrat umpan masuk melalui dasar reaktor yang kemudian terdistribusi di antara material penyangga tetap dan keluar melalui bagian atas. Pada sistem *upflow* terjadi akumulasi bakteri, sedangkan reaktor dengan sistem *down flow* substrat umpan masuk melalui bagian atas reaktor yang kemudian terdistribusi di antara material penyangga tetap dan keluar melalui bagian bawah.

Pengaruh bioball yang digunakan terhadap biofilm yang terbentuk adalah :

- a. Luas Permukaan Media : Semakin luas permukaan media, makin besar biomassa per unit volume. Luas permukaan media mempengaruhi jumlah mikroorganisme yang tumbuh sebagai biofilm pada permukaan media didalam reaktor. Satuan luas permukaan menjadi sangat penting bila suatu biomassa punya kecenderungan membentuk lapisan biofilm yang sangat besar dibanding yang tersuspensi diantara rongga media. Bioball yang digunakan pada penelitian ini memiliki luas permukaan spesifik yang cukup besar yakni $230 \text{ m}^2/\text{m}^3$ serta porositas media yang cukup besar pula yakni 0,92. Hal ini terbukti pada kondisi lapangan dimana ketika proses *Seeding* dan Aklimatisasi sedang berlangsung untuk masing – masing reaktor didapatkan hasil berupa penyisihan PV. Pada proses *Seeding* mikroorganisme terbanyak dalam menyisihkan PV terdapat pada reaktor dengan tinggi media 40 cm sedangkan untuk proses Aklimatisasi

didapatkan hasil berupa removal terbesar terjadi pada reaktor dengan tinggi media 50 cm dengan removal tertinggi sebesar 60%.

- b. Persentase ruang kosong : Semakin besar ruang kosong, semakin besar kontak antara substrat dalam air buangan dengan biomassa yang menempel pada media pendukung.

Lapisan biomassa atau biofilm didefinisikan sebagai lapisan sel mikroba yang berkaitan dengan penguraian zat organik yang melekat pada suatu permukaan media. Pada permukaan yang terpapar oleh suatu aliran fluida, pembentukan biofilm merupakan hasil dari proses fisis, kimiawi, dan biologis :

- a. Perpindahan dan adsorpsi molekul organik ke permukaan
- b. Perpindahan sel mikroba ke permukaan
- c. Pelekatan mikroorganisme ke permukaan
- d. Transformasi mikroorganisme meliputi proses pertumbuhan dan produksi substansi extra polimer
- e. Pengelupasan bagian lapisan biofilm yang diakibatkan adanya tegangan Tarik fluida

Kecepatan pertumbuhan lapisan biofilm pada permukaan akan bertambah akibat perkembangbiakan dan adsorpsi yang terus berlanjut sehingga terjadi proses akumulasi lapisan biomassa yang terbentuk lapisan lendir (*slime*). Pertumbuhan mikroorganisme akan terus berlangsung pada *slime* yang sudah terbentuk sehingga ketebalan *slime* bertambah.

Difusi makanan dan oksigen akan terus berlangsung sampai tercapai ketebalan maksimum sehingga pada kondisi ini difusi makanan dan oksigen tidak mampu lagi mencapai permukaan padatan yang akibatnya lapisan biomassa ini akan terbagi menjadi dua zona yaitu zona aerob dan zona anaerob. Pada kondisi ini mulai terjadi pengelupasan lapisan biomassa yang selanjutnya akan segera terbentuk koloni mikroorganisme yang baru sehingga pembentukan biofilm akan terus berlangsung. Proses pengelupasan ini juga disebabkan oleh pengikisan cairan yang berlebih dan mengalir melalui biofilm.

Di dalam reaktor biofilter, mikroorganisme tumbuh melapisi keseluruhan permukaan media dan pada saat beroperasi air mengalir melalui celah – celah media dan berhubungan langsung dengan lapisan massa mikroba (*biofilm*). Mekanisme

perpindahan massa yang terjadi pada permukaan suatu media dinyatakan sebagai berikut :

- a. Difusi substansi air buangan dari cairan induk ke dalam massa mikroba yang melapisi media
- b. Reaksi peruraian bahan organik maupun anorganik oleh mikroba
- c. Difusi produk peruraian ke luar ke cairan induk limbah

Permukaan media yang kontak dengan nutrisi yang terdapat dalam air buangan ini mengandung mikroorganisme yang akan membentuk lapisan aktif biologis. Disamping itu oksigen terlarut juga merupakan faktor pembentukan lapisan film. Proses awal pertumbuhan mikroba dan pembentukan lapisan film. Proses awal pertumbuhan mikroba dan pembentukan lapisan film pada media membutuhkan waktu beberapa minggu, yang dikenal dengan proses pematangan. Pada awalnya tingkat efisiensi penjernihan sangat rendah yang kemudian akan mengalami peningkatan dengan terbentuknya lapisan film.



Gambar 4.11 Biofilm yang terbentuk di Reaktor dengan Media Bioball

4.5.2 Penurunan Konsentrasi COD

Setelah dilakukan proses *seeding* serta aklimatisasi, tahap selanjutnya yakni *running* reaktor. Dimana pada *running* yang pertama ini, operasional biofilter aerob ini dilakukan dengan kondisi menggunakan aerasi 48 jam. Pada *running* reaktor, yang dilakukan adalah analisis influen air limbah tambak udang yang merupakan tahap awal dan dilanjutkan dengan uji analisa sampling effluen di masing masing reaktor sesuai dengan parameter yang

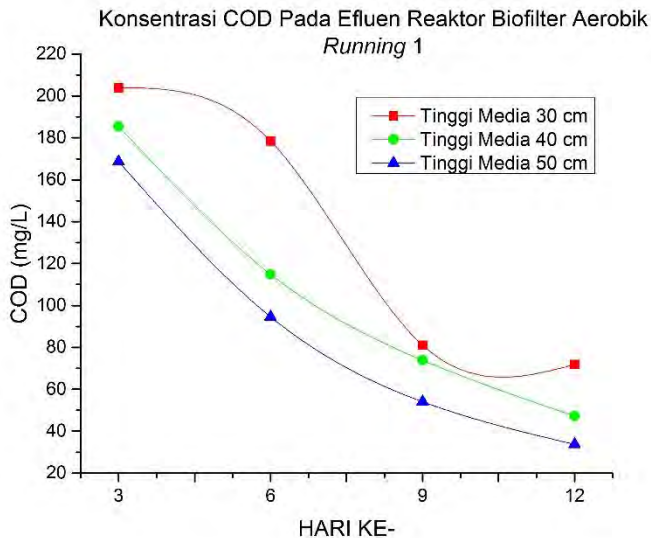
dikaji. Untuk analisis COD kali ini dilakukan analisa dengan rentang waktu setiap 3 hari sekali dan didapatkan konsentrasi serta hasil removal dalam masing masing reaktor seperti yang terlampir. Hasil analisa COD untuk *running* 1 dapat dilihat seperti pada Gambar 4.14 berupa data grafik dan diuraikan dalam tabel 7-9 pada lampiran B dan analisis laboratorium untuk COD ditampilkan pada gambar 4.12 dan 4.13 dibawah ini. Analisis COD dilakukan dengan prinsip *closed reflux* melalui oksidasi oleh larutan $K_2Cr_2O_7$ sesuai dengan yang telah diuraikan dalam lampiran A.



Gambar 4.12 Tahapan Analisis COD



Gambar 4.13 Analisis COD



Gambar 4.14 Konsentrasi COD Pada Reaktor dengan Aerasi 48 Jam

Berdasarkan data hasil analisis laboratorium rata-rata konsentrasi COD influen aktual untuk reaktor dengan tinggi media 30 cm, 40 cm, dan 50 cm adalah 331,08 mg/l. Konsentrasi COD pada titik sampling efluen reaktor dengan tinggi media 30 cm memiliki nilai rata-rata sebesar 133,79 mg/l. Untuk sampling hari ketiga efluen COD yakni 203,89 mg/l, sampling hari keenam 178,38 mg/l, untuk sampling hari kesembilan 81,08 mg/l, dan 71,81 mg/l untuk sampling hari kedua belas. Removal COD tertinggi sebesar 78% untuk reaktor dengan tinggi media 30 cm, terdapat pada konsentrasi sampling kedua belas, yaitu dengan nilai rata-rata efluen sebesar 71,81 mg/l.

Konsentrasi COD pada titik sampling efluen reaktor dengan tinggi media 40 cm memiliki nilai rata-rata sebesar 105,36 mg/l. Untuk sampling hari ketiga efluen COD yakni 185,41 mg/l, sampling hari keenam 114,86 mg/l, untuk sampling kesembilan 73,86 mg/l, dan 47,30 mg/l untuk sampling hari kedua belas. Removal COD tertinggi sebesar 86% untuk reaktor dengan tinggi

media 40 cm, terdapat pada konsentrasi sampling kedua belas, yaitu dengan nilai rata-rata efluen sebesar 47,30 mg/l.

Konsentrasi COD pada titik sampling efluen reaktor dengan tinggi media 50 cm memiliki nilai rata-rata sebesar 87,77 mg/l. Untuk sampling hari ketiga efluen COD yakni 168,65 mg/l, sampling hari keenam 94,59 mg/l, untuk sampling hari kesembilan 54,05 mg/l, dan 33,78 mg/l untuk sampling kedua belas. Removal COD tertinggi sebesar 90% untuk reaktor dengan tinggi media 50 cm, terdapat pada konsentrasi sampling kedua belas, yaitu dengan nilai rata-rata efluen sebesar 33,78 mg/l.

Setelah dilakukan *running* reaktor yang pertama, tahap selanjutnya yakni *running* kedua reaktor. Dimana pada *running* yang kedua ini, operasional biofilter aerob ini dilakukan dengan kondisi menggunakan aerasi intermitten 12 jam. Pada *running* reaktor, yang dilakukan adalah analisis influen air limbah tambak udang yang merupakan tahap awal dan dilanjutkan dengan uji analisa sampling efluen di masing masing reaktor sesuai dengan parameter yang dikaji. Untuk analisis COD kali ini dilakukan analisa dengan rentang waktu setiap 2 hari sekali dan didapatkan konsentrasi serta hasil removal dalam masing masing reaktor seperti yang terlampir. Hasil analisa COD untuk *running* 2 dapat dilihat seperti pada Gambar 4.15 berupa data grafik dan diuraikan dalam tabel 10-12 pada lampiran B dan analisis laboratorium untuk COD ditampilkan pada gambar 4.12 dan 4.13. Analisis COD dilakukan dengan prinsip *closed reflux* melalui oksidasi oleh larutan $K_2Cr_2O_7$ sesuai dengan yang telah diuraikan dalam lampiran A.

Berdasarkan data hasil analisis laboratorium rata-rata konsentrasi COD influen aktual untuk reaktor dengan tinggi media 30 cm, 40 cm, dan 50 cm adalah 407,50 mg/l. Konsentrasi COD pada titik sampling efluen reaktor dengan tinggi media 30 cm memiliki nilai rata-rata sebesar 95,47 mg/l. Untuk sampling hari kedua efluen COD yakni 175,68 mg/l, sampling hari keempat 128,38 mg/l, untuk sampling hari keenam 114,86 mg/l, untuk sampling hari kedelapan 87,84 mg/l, untuk sampling hari kesepuluh 108,11 mg/l, untuk sampling hari kedua belas 81,08 mg/l, untuk sampling hari keempat belas 78,38 mg/l, untuk sampling hari keenam belas 61,49 mg/l, untuk sampling hari kedelapan belas 60,81 mg/l, dan 58,11 mg/l untuk sampling kedua

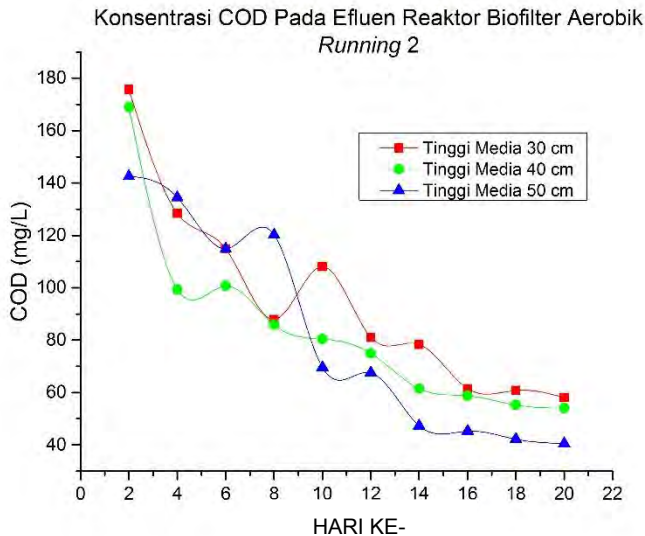
puluh. Removal COD tertinggi sebesar 86% untuk reaktor dengan tinggi media 30 cm, terdapat pada konsentrasi sampling kedua puluh, yaitu dengan nilai rata-rata efluen sebesar 58,11 mg/l.

Konsentrasi COD pada titik sampling efluen reaktor dengan tinggi media 40 cm memiliki nilai rata-rata sebesar 83,97 mg/l. Untuk sampling hari kedua efluen COD yakni 168,92 mg/l, sampling hari keempat 99,32 mg/l, untuk sampling hari keenam 100,68 mg/l, untuk sampling hari kedelapan 85,81 mg/l, untuk sampling hari kesepuluh 80,41 mg/l, untuk sampling hari kedua belas 75 mg/l, untuk sampling hari keempat belas 61,49 mg/l, untuk sampling hari keenam belas 58,78 mg/l, untuk sampling hari kedelapan belas 55,27 mg/l, dan 54,05 mg/l untuk sampling kedua puluh. Removal COD tertinggi sebesar 87% untuk reaktor dengan tinggi media 40 cm, terdapat pada konsentrasi sampling kedua puluh, yaitu dengan nilai rata-rata efluen sebesar 54,05 mg/l.

Konsentrasi COD pada titik sampling efluen reaktor dengan tinggi media 50 cm memiliki nilai rata-rata sebesar 82,47 mg/l. Untuk sampling hari kedua efluen COD yakni 142,57 mg/l, sampling hari keempat 134,46 mg/l, untuk sampling hari keenam 114,86 mg/l, untuk sampling hari kedelapan 120,27 mg/l, untuk sampling hari kesepuluh 69,59 mg/l, untuk sampling hari kedua belas 67,57 mg/l, untuk sampling hari keempat belas 47,30 mg/l, untuk sampling keenam belas 45,27 mg/l, untuk sampling hari kedelapan belas 42,23 mg/l, dan 40,54 mg/l untuk sampling hari kedua puluh. Removal COD tertinggi sebesar 90% untuk reaktor dengan tinggi media 50 cm, terdapat pada konsentrasi sampling kedua puluh, yaitu dengan nilai rata-rata efluen sebesar 40,54 mg/l.

Dari Gambar 4.14 dan 4.15 menunjukkan bahwa dari pengolahan yang dilakukan, sistem memiliki 3 kondisi yang cukup stabil pada masing – masing reaktor biofilter. Kondisi stabil yang dimaksud adalah kondisi dimana pada suatu rentang tertentu masing-masing perlakuan variasi menunjukkan nilai (persentase reduksi limbah) yang tidak jauh berbeda, masing-masing kondisi stabil dicari rata-ratanya untuk memudahkan dalam menganalisa fluktuasi antar data. Pada kondisi stabil yang pertama yaitu pada reaktor dengan tinggi media 30 cm, degradasi COD yang dilakukan oleh sistem masih menunjukkan penurunan dan kenaikan yang

tidak konstan. Dimana degradasi COD yang dihasilkan berkisar antara 38% sampai 78% (*running 1*) dan 4% sampai 86% (*running 2*).



Gambar 4.15 Konsentrasi COD Pada Reaktor dengan Aerasi Intermiten 12 Jam

Pada kondisi stabil kedua sistem masih menunjukkan kenaikan dan penurunan COD yang belum konstan dimana stabilitas sistem berada pada reaktor dengan tinggi media 40 cm degradasi COD yang dihasilkan berkisar antara 44% sampai 86% (*running 1*) dan 17% sampai 87% (*running 2*). Pada kondisi stabil ketiga stabilitas sistem berada pada reaktor dengan tinggi media 50 cm reduksi COD yang dihasilkan antara 49% sampai 90% (*running 1*) dan 12% - 90% (*running 2*). Dimana pada kondisi ini stabilitas yang dihasilkan menunjukkan kenaikan dan penurunan yang lebih signifikan.

Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa, semakin lama sistem diolah, stabilitas yang dihasilkan dari masing-masing kondisi stabil semakin signifikan. Hal ini dibuktikan pada kondisi dari masing - masing reaktor pada *running* awal reaktor dimana

stabilitas sistem masih menunjukkan penurunan serta tingkat fluktuasi yang tidak signifikan (belum konstan), sedangkan pada kondisi mendekati akhir *running* reaktor stabilitas dan tingkat fluktuasi yang dihasilkan lebih signifikan dan mengalami penurunan reduksi COD yang konstan. Terjadinya efisiensi COD yang belum konstan pada awal pengolahan diduga karena adanya mikroorganisme yang tumbuh secara tidak bersamaan yang menyebabkan kemampuan mikroorganisme dalam mereduksi limbah berbeda-beda tiap harinya. Suatu sistem pengolahan limbah cair dengan biofilter baik anaerob maupun aerob, proses reduksinya sebagian besar berlangsung pada permukaan biofilm pada limbah cair dan sebagian kecil dalam badan biofilm (Rittman dan McCarty, 2001). Berdasarkan hal tersebut, diduga bahwa dalam sistem biofilter baik anaerob maupun aerob, jumlah mikroorganisme pengurai yang aktif juga terbatas karena yang berperan dalam degradasi substrat organik hanya lapisan atas saja, dengan demikian kemampuan degradasi substrat pun terbatas.

Selain dari faktor mikroorganisme pada sistem, faktor lain yang diduga mempengaruhi persentase kenaikan dan penurunan COD adalah dari susunan sistem yang dilakukan. Setelah dilakukan perbandingan terhadap kinerja reaktor anaerob pada literature dan reaktor aerobik pada penelitian ini didapatkan penurunan COD pada reaktor anaerob selalu lebih rendah dibandingkan reaktor aerob, karena laju fermentasi pada sistem anaerobik lazimnya selalu lebih rendah jika dibandingkan dengan sistem aerob. Hal ini disebabkan karena kesetimbangan antara substrat dan produk sulit untuk dipertahankan. CO₂ yang terbentuk dalam sistem anaerob akan mempengaruhi laju fermentasi dan tidak dapat keluar dari sistem sehingga penurunan COD oleh reaktor lebih rendah (Sianita, dkk, 2006).

Pada hasil penelitian ini didapatkan hasil bahwa efisiensi reduksi COD semakin meningkat. Juga terlihat bahwa kestabilan operasi terjadi pada *running* reaktor tersebut. Hal ini mengindikasikan bahwa pada saat awal operasi, keaktifan mikroba masih cukup besar karena tempat kontak antara mikroba dengan air limbah yang tersedia cukup banyak. Sementara itu setelah beberapa hari mikroba mulai saling bertumpuk dan sedemikian rupa sehingga menghambat kontak antara mikroba dengan air

limbah. Dengan demikian persentase dari penurunan COD menjadi relatif konstan, dimana jumlah bakteri yang mati dan yang tumbuh mulai berimbang dan mencapai kestabilan. Pada saat terjadi penurunan reduksi COD, hal ini disebabkan jumlah kematian lebih besar daripada jumlah pertumbuhan bakteri dan pada saat terjadi kenaikan kembali karena bakteri yang tumbuh menggunakan energi simpanan ATP untuk pernafasannya (Sugiharto, 1994).

Selain itu pengaruh lain dalam penyisihan COD adalah waktu tinggal air limbah dalam reaktor yang cukup yakni selama 48 jam. Semakin lama waktu tinggal cairan maka semakin lama pula air limbah berada di dalam sistem, akibatnya waktu kontak antara biomassa dalam reaktor dengan substrat juga semakin lama. Dengan demikian proses degradasi biologis aerob berlangsung semakin baik, sehingga persentase penurunan COD juga meningkat.

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa media tertinggi memiliki removal tertinggi COD pula dengan kondisi sistem aerasi *continuu* 48 jam. Tetapi pada *running* kedua dengan sistem *intermitten* 12 jam removal yang dihasilkan juga cukup tinggi. Hal ini dikarenakan semakin tinggi konsentrasi COD reaktor (*influen*), semakin besar jumlah substrat organik yang terkandung dalam aliran limbah cair, dengan demikian beban organik yang harus diuraikan oleh mikroba aerob juga semakin besar. Suatu sistem pengolahan limbah cair dengan biakan melekat (biofilter), proses degradasi substrat organik secara biologis sebagian besar berlangsung pada antar-muka biofilm dengan limbah cair dan sebagian kecil lagi di dalam badan biofilm tersebut (Ritman dan McCarty, 2001; MetCalf & Eddy, 2003).

Berdasarkan hal tersebut, diduga bahwa dalam sistem biofilter jumlah mikroorganisme pengurai yang aktif juga terbatas karena yang berperan dalam degradasi substrat organik hanya lapisan atas saja, dengan demikian kemampuan mendegradasi substratpun kurang maksimal. Selain itu, indikasi lainnya adalah bahwa semakin tinggi media maka semakin panjang pula lintasan yang harus dilalui oleh substrat organik mulai dari saat masuk hingga keluar dari reaktor. Dengan demikian semakin besar pula kesempatan kontak antara limbah cair dengan mikroorganisme aerob dalam biofilm, atau akibat dari perbedaan variasi tinggi

media antara 30 cm, 40 cm, dan 50 cm maka luas kontak mikroba dengan limbah akan berbeda pula.

4.5.3 Penurunan Konsentrasi BOD

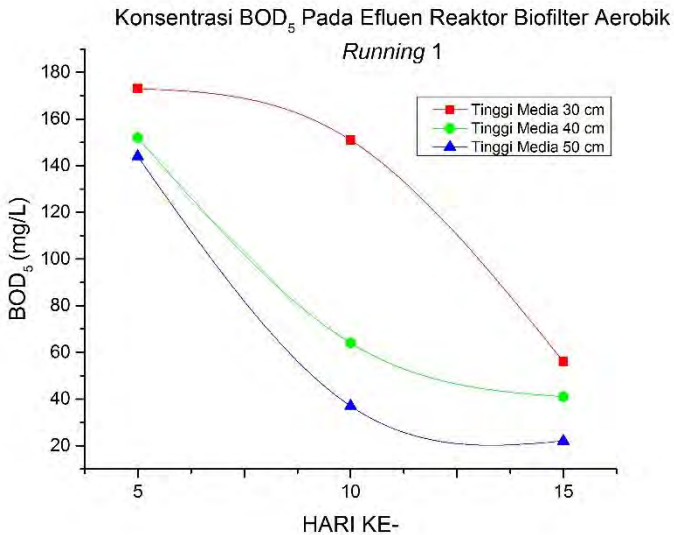
Pada *running* reaktor, yang dilakukan adalah analisis influen air limbah tambak udang yang merupakan tahap awal dan dilanjutkan dengan uji analisa sampling efluen di masing masing reaktor sesuai dengan parameter yang dikaji. Untuk analisis BOD₅ kali ini dilakukan analisa dengan rentang waktu setiap 5 hari sekali dan didapatkan konsentrasi serta hasil removal dalam masing masing reaktor seperti yang terlampir sekali dan didapatkan konsentrasi serta hasil removal dalam masing masing reaktor seperti yang terlampir. Hasil analisa BOD₅ untuk *running* 1 dapat dilihat seperti pada Gambar 4.17 berupa data grafik dan diuraikan dalam tabel 13-15 pada lampiran B dan analisis laboratorium untuk BOD₅ ditampilkan pada gambar 4.16 dibawah ini. Analisis BOD₅ dilakukan dengan prinsip winkler yaitu reaksi oksidasi zat organik dengan oksigen yang terkandung dalam air oleh mikroorganisme sesuai dengan yang telah diuraikan dalam lampiran A.



Gambar 4.16 Analisis BOD

Berdasarkan data hasil analisis laboratorium rata-rata konsentrasi BOD influen aktual untuk reaktor dengan tinggi media 30 cm, 40 cm, dan 50 cm adalah 294 mg/l. Konsentrasi BOD pada titik sampling efluen reaktor dengan tinggi media 30 cm memiliki nilai rata-rata sebesar 127 mg/l. Untuk sampling hari kelima efluen BOD yakni 173 mg/l, sampling hari kesepuluh 151 mg/l, dan 56

mg/l untuk hari kelima belas. Removal BOD tertinggi sebesar 81% untuk reaktor dengan tinggi media 30 cm, terdapat pada konsentrasi sampling hari kelima belas, yaitu dengan nilai rata-rata efluen sebesar 56 mg/l.



Gambar 4.17 Konsentrasi BOD₅ Pada Reaktor dengan Aerasi 48 Jam

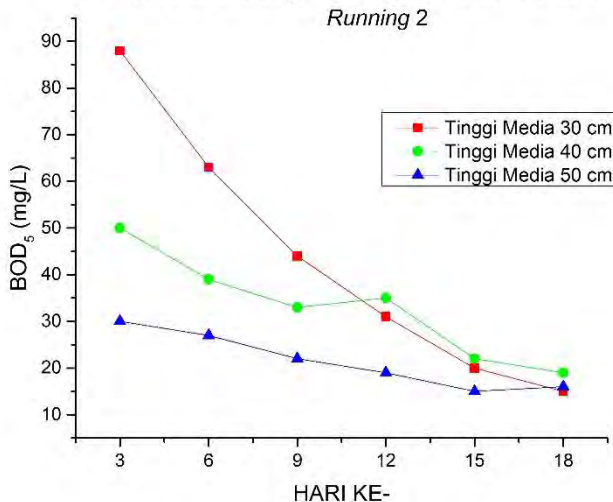
Konsentrasi BOD pada titik sampling efluen reaktor dengan tinggi media 40 cm memiliki nilai rata-rata sebesar 86 mg/l. Untuk sampling hari kelima efluen BOD yakni 152 mg/l, sampling hari kesepuluh 64 mg/l, untuk dan 41 mg/l untuk sampling hari kelima belas. Removal BOD tertinggi sebesar 86% untuk reaktor dengan tinggi media 40 cm, terdapat pada konsentrasi sampling hari kelima belas, yaitu dengan nilai rata-rata efluen sebesar 41 mg/l.

Konsentrasi BOD pada titik sampling efluen reaktor dengan tinggi media 50 cm memiliki nilai rata-rata sebesar 68 mg/l. Untuk sampling hari kelima efluen BOD yakni 144 mg/l, sampling hari kesepuluh 37 mg/l, untuk dan 22 mg/l untuk sampling hari kelima belas. Removal BOD tertinggi sebesar 90% untuk reaktor dengan tinggi media 50 cm, terdapat pada konsentrasi sampling

hari kelima belas, yaitu dengan nilai rata-rata efluen sebesar 22 mg/l.

Setelah dilakukan *running* reaktor yang pertama, tahap selanjutnya yakni *running* kedua reaktor. Dimana pada *running* yang kedua ini, operasional biofilter aerob ini dilakukan dengan kondisi menggunakan aerasi intermitten 12 jam. Pada *running* reaktor, yang dilakukan adalah analisis influen air limbah tambak udang yang merupakan tahap awal dan dilanjutkan dengan uji analisa sampling efluen di masing masing reaktor sesuai dengan parameter yang dikaji. Untuk analisis BOD₅ kali ini dilakukan analisa dengan rentang waktu setiap 3 hari sekali dan didapatkan konsentrasi serta hasil removal dalam masing masing reaktor seperti yang terlampir. Hasil analisa BOD₅ untuk *running* 2 dapat dilihat seperti pada Gambar 4.18 berupa data grafik dan diuraikan dalam tabel 16-18 pada lampiran B dan analisis laboratorium untuk BOD₅ ditampilkan pada gambar 4.16. Analisis BOD₅ dilakukan dengan prinsip winkler yaitu reaksi oksidasi zat organik dengan oksigen yang terkandung dalam air oleh mikroorganisme sesuai dengan yang telah diuraikan dalam lampiran A.

Konsentrasi BOD₅ Pada Efluen Reaktor Biofilter Aerobik



Gambar 4.18 Konsentrasi BOD₅ Pada Reaktor dengan Aerasi Intermitten 12 Jam

Berdasarkan data hasil analisis laboratorium rata-rata konsentrasi BOD influen aktual untuk reaktor dengan tinggi media 30 cm, 40 cm, dan 50 cm adalah 224 mg/l. Konsentrasi BOD pada titik sampling efluen reaktor dengan tinggi media 30 cm memiliki nilai rata-rata sebesar 44 mg/l. Untuk sampling hari ketiga efluen BOD yakni 88 mg/l, sampling hari keenam 63 mg/l, sampling hari kesembilan 44 mg/l, sampling kedua belas 31 mg/l, sampling kelima belas 20 mg/l, dan 15 mg/l untuk sampling kedelapan belas. Removal BOD tertinggi sebesar 91% untuk reaktor dengan tinggi media 30 cm, terdapat pada konsentrasi sampling kedelapan belas, yaitu dengan nilai rata-rata efluen sebesar 15 mg/l.

Konsentrasi BOD pada titik sampling efluen reaktor dengan tinggi media 40 cm memiliki nilai rata-rata sebesar 33 mg/l. Untuk sampling hari ketiga efluen BOD yakni 50 mg/l, sampling hari keenam 39 mg/l, sampling hari kesembilan 33 mg/l, sampling hari kedua belas 35 mg/l, sampling hari kelima belas 22 mg/l, dan 19 mg/l untuk sampling kedelapan belas. Removal BOD tertinggi sebesar 92% untuk reaktor dengan tinggi media 40 cm, terdapat pada konsentrasi sampling hari kedelapan belas, yaitu dengan nilai rata-rata efluen sebesar 19 mg/l.

Konsentrasi BOD pada titik sampling efluen reaktor dengan tinggi media 50 cm memiliki nilai rata-rata sebesar 90 mg/l. Untuk sampling hari ketiga efluen BOD yakni 30 mg/l, sampling hari keenam 27 mg/l, sampling hari kesembilan 22 mg/l, sampling hari kedua belas 19 mg/l, sampling hari kelima belas 15 mg/l, dan 16 mg/l untuk sampling hari kedelapan belas. Removal BOD tertinggi sebesar 93% untuk reaktor dengan tinggi media 50 cm, terdapat pada konsentrasi sampling hari kelima belas, yaitu dengan nilai rata-rata efluen sebesar 15 mg/l.

Pada Gambar 4.17 dan 4.18 menunjukkan bahwa dari pengolahan yang dilakukan, sistem memiliki 3 kondisi yang cukup stabil pada masing – masing reaktor biofilter. Reduksi BOD yang dilakukan oleh sistem masih menunjukkan penurunan dan kenaikan yang tidak konstan. Dimana reduksi BOD yang dihasilkan berkisar antara 41% sampai 81% (*running 1*) dan 61% sampai 93% (*irunning 2*) pada reaktor dengan tinggi media 30 cm. Pada reaktor kedua, sistem juga masih menunjukkan kenaikan dan penurunan BOD yang cukup konstan dimana stabilitas sistem berada pada reaktor dengan tinggi media 40 cm degradasi BOD yang dihasilkan

berkisar antara 48% sampai 86% (*running 1*) dan 78% sampai 92% (*running 2*). Pada kondisi stabil ketiga stabilitas sistem berada pada reaktor dengan tinggi media 50 cm degradasi BOD yang dihasilkan antara 51% sampai 93% (*running 1*) dan 87% sampai 93% (*running 2*). Dimana pada kondisi pertama ini stabilitas yang dihasilkan menunjukkan kenaikan dan penurunan yang lebih signifikan dibandingkan dua kondisi sebelumnya.

Kadar BOD yang tinggi pada air limbah budidaya tambak udang menunjukkan indikasi adanya penurunan kadar oksigen terlarut akibat tingginya konsentrasi oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk memecah atau mendegradasi zat organik terlarut dalam limbah tersebut.

Herlambang (2002) menyatakan bahwa setelah beberapa hari, pada permukaan media filter akan tumbuh lapisan film mikroorganisme. Mikroorganisme inilah yang akan menguraikan zat organik yang belum sempat terurai pada bak pengendap awal. Menurut Filailah (2008), mikroorganisme yang tumbuh dominan pada media plastik bioball adalah *Pseudomonas stutzeri*, *Pseudomonas Pseudoalcaligenes* dan *Peinococcus radiopugnens*.

Untuk mengetahui persentase penyisihan kadar BOD pada air limbah budidaya tambak udang dapat dilihat pada grafik 4.17 dan 4.18. Selama proses pengolahan endapan pada reaktor pengendapan awal dan akhir meningkat. Begitu pula dengan biofilm yang tumbuh pada media bioball semakin tebal pada reaktor reaktor.

Penyisihan kadar BOD yang semakin meningkat pada masing – masing reaktor juga menunjukkan bahwa semakin lama media berkontak dengan air limbah maka mikroorganisme yang menempel akan semakin stabil untuk menguraikan kadar pencemar yang terdapat pada air limbah. Selanjutnya penyisihan kadar BOD adalah dimana terjadi pada reaktor aerob. Pada reaktor ini mikroorganisme yang berperan aktif untuk mengolah air limbah adalah mikroba yang memerlukan oksigen atau udara untuk memecah senyawa organik.

Baik reduksi COD maupun BOD, terjadinya efisiensi BOD yang belum konstan pada awal pengolahan diduga karena adanya mikroorganisme yang tumbuh secara tidak bersamaan yang menyebabkan kemampuan mikroorganisme dalam mendegradasi limbah berbeda-beda tiap harinya. Menurut Jasmianti (2010),

bahwa kemampuan mendapatkan makanan atau kemampuan metabolisme di lingkungan bervariasi, mikroorganisme yang mempunyai kemampuan adaptasi dan mendapatkan makanan dalam jumlah besar dengan kecepatan yang maksimum akan berkembang biak dengan cepat dan akan menjadi dominan di lingkungannya.

Hal ini juga sejalan dengan pendapat Astuti (2007), penurunan konsentrasi BOD yang sering terjadi pada awal penambahan *nutrient* disebabkan mikroorganisme perlu menyesuaikan diri dengan penambahan tersebut, tetapi setelah mikroorganisme tersebut telah menyesuaikan diri, efisiensi penyisihan pun akan stabil. Oleh karenanya perlu ditetapkan waktu yang sesuai dalam adaptasi sehingga didapatkan hasil yang lebih efektif.

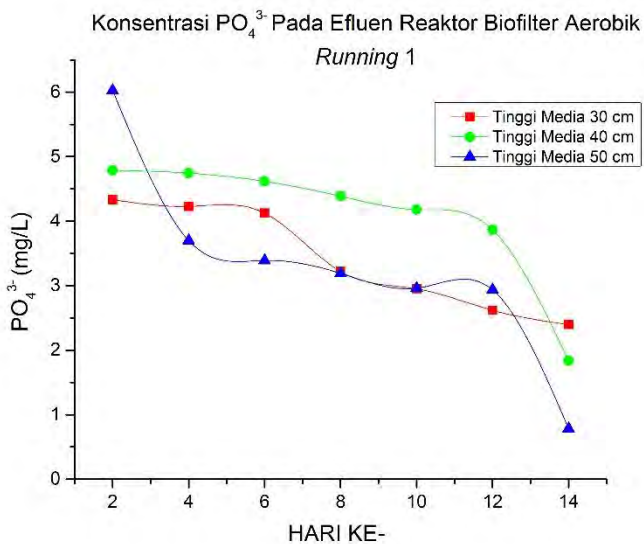
4.6 Penurunan Konsentrasi Nutrient

4.6.1 Penurunan Konsentrasi Phospat

Pada *running* reaktor, yang dilakukan adalah analisis influen air limbah tambak udang yang merupakan tahap awal dan dilanjutkan dengan uji analisa sampling effluen di masing masing reaktor sesuai dengan parameter yang dikaji. Untuk analisis Phospat kali ini dilakukan analisa dengan rentang waktu setiap 2 hari sekali dan didapatkan konsentrasi serta hasil removal dalam masing masing reaktor seperti yang terlampir. Hasil analisa PO_4^{3-} untuk *running* 1 dapat dilihat seperti pada Gambar 4.20 berupa data grafik dan diuraikan dalam tabel 19-21 pada lampiran B dan analisis laboratorium untuk PO_4^{3-} ditampilkan pada gambar 4.19 dibawah ini. Analisis PO_4^{3-} dilakukan dengan menggunakan Ammonium Molybdate dan SnCl serta pembacaan nilai absorbansinya menggunakan spektrofotometer visual sesuai dengan yang telah diuraikan dalam lampiran A.



Gambar 4.19 Analisa Phospat



Gambar 4.20 Konsentrasi PO_4^{3-} Pada Reaktor dengan Aerasi Intermitten 48 Jam

Berdasarkan data hasil analisis laboratorium rata-rata konsentrasi PO_4^{3-} influen aktual untuk reaktor dengan tinggi media 30 cm, 40 cm, dan 50 cm adalah 6,37 mg/l. Konsentrasi PO_4^{3-} pada

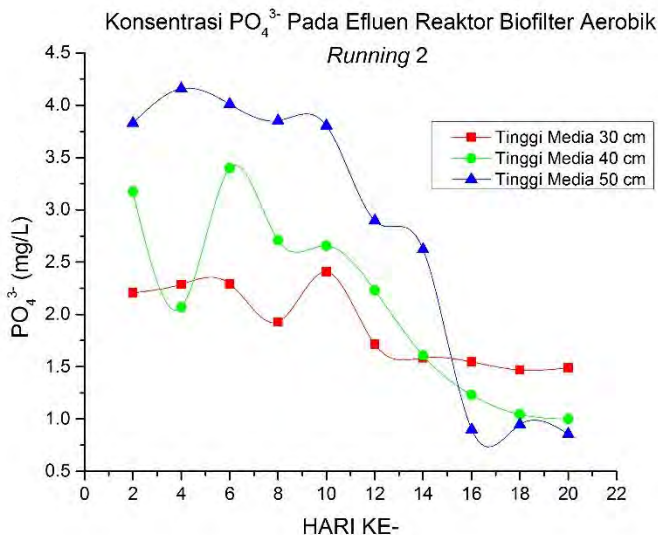
titik sampling efluen reaktor dengan tinggi media 30 cm memiliki nilai rata-rata sebesar 3,41 mg/l. Untuk sampling hari kedua efluen PO_4^{3-} yakni 4,33 mg/l, sampling hari keempat 4,23 mg/l, sampling hari keenam 4,12 mg/l, sampling hari kedelapan 3,22 mg/l, sampling hari kesepuluh 2,95 mg/l, sampling hari kedua belas 2,62 mg/l, dan 2,40 mg/l untuk sampling hari keempat belas. Removal PO_4^{3-} tertinggi sebesar 62% untuk reaktor dengan tinggi media 30 cm, terdapat pada konsentrasi sampling hari keempat belas, yaitu dengan nilai rata-rata efluen sebesar 2,40 mg/l.

Konsentrasi PO_4^{3-} pada titik sampling efluen reaktor dengan tinggi media 40 cm memiliki nilai rata-rata sebesar 4,06 mg/l. Untuk sampling hari kedua efluen PO_4^{3-} yakni 4,79 mg/l, sampling hari keempat 4,75 mg/l, sampling hari keenam 4,62 mg/l, sampling hari kedelapan 4,39 mg/l, sampling hari kesepuluh 4,18 mg/l, sampling hari kedua belas 3,87 mg/l, dan 1,84 mg/l untuk sampling hari keempat. Removal PO_4^{3-} tertinggi sebesar 71% untuk reaktor dengan tinggi media 40 cm, terdapat pada konsentrasi sampling hari keempat belas, yaitu dengan nilai rata-rata efluen sebesar 1,84 mg/l.

Konsentrasi PO_4^{3-} pada titik sampling efluen reaktor dengan tinggi media 50 cm memiliki nilai rata-rata sebesar 3,29 mg/l. Untuk sampling hari kedua efluen PO_4^{3-} yakni 6,03 mg/l, sampling hari keempat 3,70 mg/l, sampling hari keenam 3,39 mg/l, sampling hari kedelapan 3,19 mg/l, sampling hari kesepuluh 2,96 mg/l, sampling hari kedua belas 2,94 mg/l, dan 0,78 mg/l untuk sampling hari keempat belas. Removal PO_4^{3-} tertinggi sebesar 88% untuk reaktor dengan tinggi media 50 cm, terdapat pada konsentrasi sampling keempat belas, yaitu dengan nilai rata-rata efluen sebesar 0,78 mg/l.

Setelah dilakukan *running* reaktor yang pertama, tahap selanjutnya yakni *running* kedua reaktor. Dimana pada *running* yang kedua ini, operasional biofilter aerob ini dilakukan dengan kondisi menggunakan aerasi intermitten 12 jam. Pada *running* reaktor, yang dilakukan adalah analisis influen air limbah tambak udang yang merupakan tahap awal dan dilanjutkan dengan uji analisa sampling efluen di masing masing reaktor sesuai dengan parameter yang dikaji. Untuk analisis PO_4^{3-} kali ini dilakukan analisa dengan rentang waktu setiap 2 hari sekali dan didapatkan konsentrasi serta hasil removal dalam masing masing reaktor

seperti yang terlampir. Hasil analisa PO_4^{3-} untuk *running 2* dapat dilihat seperti pada Gambar 4.21 berupa data grafik dan diuraikan dalam tabel 22-24 pada lampiran B dan analisis laboratorium untuk PO_4^{3-} ditampilkan pada gambar 4.19. Analisis PO_4^{3-} dilakukan dengan menggunakan Ammonium Molybdate dan SnCl serta pembacaan nilai absorbansinya menggunakan spektrofotometer visual sesuai dengan yang telah diuraikan dalam lampiran A.



Gambar 4.21 Konsentrasi PO_4^{3-} Pada Reaktor dengan Aerasi Intermitten 12 Jam

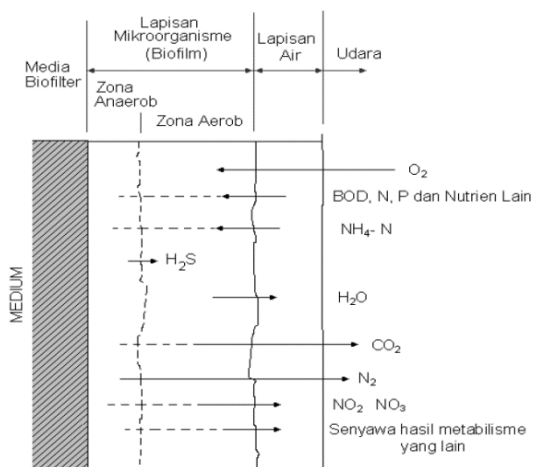
Berdasarkan data hasil analisis laboratorium rata-rata konsentrasi PO_4^{3-} influen aktual untuk reaktor dengan tinggi media 30 cm, 40 cm, dan 50 cm adalah 4,2 mg/l. Konsentrasi PO_4^{3-} pada titik sampling efluen reaktor dengan tinggi media 30 cm memiliki nilai rata-rata sebesar 1.89 mg/l. Untuk sampling hari kedua efluen PO_4^{3-} yakni 2,21 mg/l, sampling hari keempat 2,29 mg/l, sampling hari keenam 2,29 mg/l, sampling hari kedelapan 1,93 mg/l, sampling hari kesepuluh 2,41 mg/l, sampling hari kedua belas 1,71 mg/l, sampling hari keempat belas 1,58 mg/l, sampling hari keenam belas 1,55 mg/l, sampling hari kedelapan belas 1,47 mg/l

dan 1,49 mg/l untuk sampling hari kedua puluh. Removal PO_4^{3-} tertinggi sebesar 65% untuk reaktor dengan tinggi media 30 cm, terdapat pada konsentrasi sampling kedelapan belas, yaitu dengan nilai rata-rata efluen sebesar 1,47 mg/l.

Konsentrasi PO_4^{3-} pada titik sampling efluen reaktor dengan tinggi media 40 cm memiliki nilai rata-rata sebesar 2,11 mg/l. Untuk sampling hari kedua efluen PO_4^{3-} yakni 3,17 mg/l, sampling hari keempat 2,07 mg/l, sampling hari keenam 3,39 mg/l, sampling hari kedelapan 2,71 mg/l, sampling hari kesepuluh 2,66 mg/l, sampling hari kedua belas 2,23 mg/l, sampling hari keempat belas 1,61 mg/l, sampling hari keenam belas 1,23 mg/l, sampling kedelapan belas 1,04 mg/l dan 1 mg/l untuk sampling hari kedua puluh. Removal PO_4^{3-} tertinggi sebesar 65% untuk reaktor dengan tinggi media 40 cm, terdapat pada konsentrasi sampling hari kedua puluh, yaitu dengan nilai rata-rata efluen sebesar 1 mg/l.

Konsentrasi PO_4^{3-} pada titik sampling efluen reaktor dengan tinggi media 50 cm memiliki nilai rata-rata sebesar 2,79 mg/l. Untuk sampling hari kedua efluen PO_4^{3-} yakni 3,83 mg/l, sampling hari keempat 4,16 mg/l, sampling hari keenam 4,01 mg/l, sampling hari kedelapan 3,85 mg/l, sampling hari kesepuluh 3,80 mg/l, sampling hari kedua belas 2,89 mg/l, sampling hari keempat belas 2,62 mg/l, sampling hari keenam belas 0,899 mg/l, sampling hari kedelapan belas 0,947 mg/l dan 0,857 mg/l untuk sampling hari kedua puluh. Removal PO_4^{3-} tertinggi sebesar 80% untuk reaktor dengan tinggi media 50 cm, terdapat pada konsentrasi sampling kedua puluh, yaitu dengan nilai rata-rata efluen sebesar 0,857 mg/l.

Mekanisme proses metabolisme di dalam sistem biofilm secara aerobik dapat diterangkan pada Gambar 4.22. Gambar tersebut menunjukkan suatu sistem biofilm yang terdiri dari medium penyangga, lapisan alir limbah, dan lapisan udara yang terletak diluar. Senyawa polutan yang ada di dalam air limbah misalnya senyawa organik (BOD dan COD), ammonia, fospor, dan lainnya akan terdifusi ke dalam lapisan atau film biologis yang melekat pada permukaan medium.



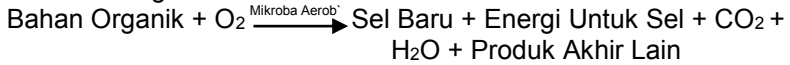
Gambar 4.22 Mekanisme Proses Metabolisme Di Dalam Proses Dengan Sistem Biofilm
Sumber : Said, 2005

Pada saat yang bersamaan dengan menggunakan oksigen yang terlarut didalam air limbah senyawa polutan tersebut akan diuraikan oleh mikroorganisme yang ada didalam lapisan biofilm dan energy yang dihasilkan akan diubah menjadi biomassa. Suplay oksigen pada lapisan biofilm dapat dilakukan dengan beberapa cara seperti halnya pada penelitian kali ini yakni biofilter tercelup menggunakan sistem aerasi merata.

Jika lapisan mikrobiologis cukup tebal, maka pada bagian luar lapisan mikrobiologis akan berada dalam kondisi aerobik sedangkan pada bagian dalam biofilm yang melekat pada medium akan berada dalam kondisi anaerobik. Pada kondisi anaerobik akan terbentuk gas H_2S , dan jika konsentrasi oksigen terlarut cukup besar maka gas H_2S yang terbentuk tersebut akan diubah menjadi sulfat (SO_4) oleh bakteri sulfat yang ada di dalam biofilm.

Pada proses aerob hasil pengolahan dari proses anaerob yang masih mengandung zat organik dan nutrisi diubah menjadi sel bakteri baru, hidrogen maupun karbondioksida oleh sel oleh sel bakteri dalam kondisi cukup oksigen.

Sistem penguraian aerob umumnya dioperasikan secara kontinyu. Persamaan umum reaksi penguraian secara aerob adalah sebagai berikut :



Pada proses penyisihan fosfat ini bakteri fosfat tidak terdapat dalam biofilm melainkan pada proses *suspended growth* Anaerob-Aerob. Sementara itu konsentrasi fosfat menurun dikarenakan membentuk sel baru dalam bentuk struktur sel di biofilm. Sehingga dihasilkan $\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2 \text{ P}_{0,26}$ (rumus molekul P dalam bentuk dalam bentuk ortofosfat).

Dengan kombinasi proses Anaerob-Aerob ini, efisiensi penghilangan senyawa fosfat menjadi lebih besar bila dibandingkan dengan proses anaerob atau proses aerob saja. Selama berada pada kondisi anaerob, senyawa fosfor anorganik yang ada didalam sel sel-sel mikroorganisme akan keluar sebagai akibat hidrolisa senyawa fosfor. Sedangkan energi yang dihasilkan digunakan untuk menyerap BOD (senyawa organik) yang ada dalam air limbah. Selama berada pada kondisi aerob, fosfat terlarut akan diserap oleh bakteri / mikroorganisme dan akan disintesa menjadi sel baru, energi, CO_2 , H_2O , dan produk akhir lain. Dengan demikian air limbah akan kontak dengan mikroorganisme yang menempel pada permukaan media filter bioball yang mana hal tersebut dapat meningkatkan efisiensi penguraian fosfat sehingga efisiensi penghilangannya menjadi lebih besar pada kondisi aerasi kontak (*contact aeration*).

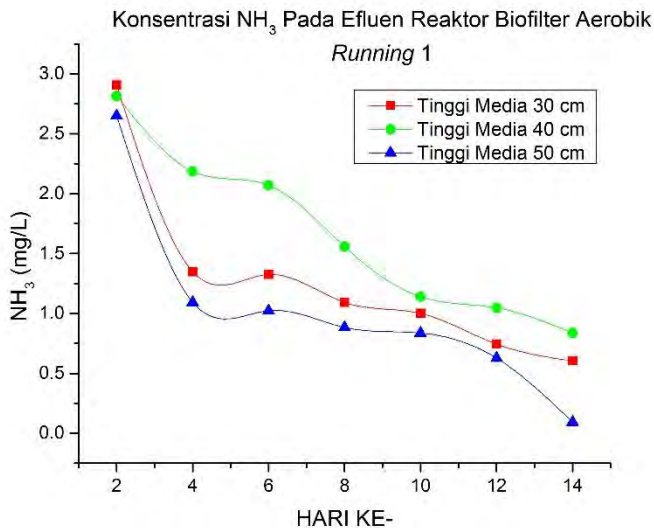
4.6.2 Penurunan Konsentrasi Ammonia

Pada *running* reaktor, yang dilakukan adalah analisis influen air limbah tambak udang yang merupakan tahap awal dan dilanjutkan dengan uji analisa sampling effluen di masing masing reaktor sesuai dengan parameter yang dikaji. Untuk analisis Ammonia kali ini dilakukan analisa dengan rentang waktu setiap 2 hari sekali dan didapatkan konsentrasi serta hasil removal dalam masing masing reaktor seperti yang terlampir. Hasil analisa NH_3 untuk *running* 1 dapat dilihat seperti pada Gambar 4.24 berupa data grafik dan diuraikan dalam tabel 25-27 pada lampiran B dan analisis laboratorium untuk NH_3 ditampilkan pada gambar 4.23 dibawah ini. Analisis NH_3 dilakukan dengan menggunakan

Nesslerization Method serta pembacaan nilai absorbansinya menggunakan spektrofotometer visual sesuai dengan yang telah diuraikan dalam lampiran A.



Gambar 4.23 Analisa Ammonia



Gambar 4.24 Konsentrasi NH_3 Pada Reaktor dengan Aerasi 48 Jam

Berdasarkan data hasil analisis laboratorium rata-rata konsentrasi NH_3 influen aktual untuk reaktor dengan tinggi media

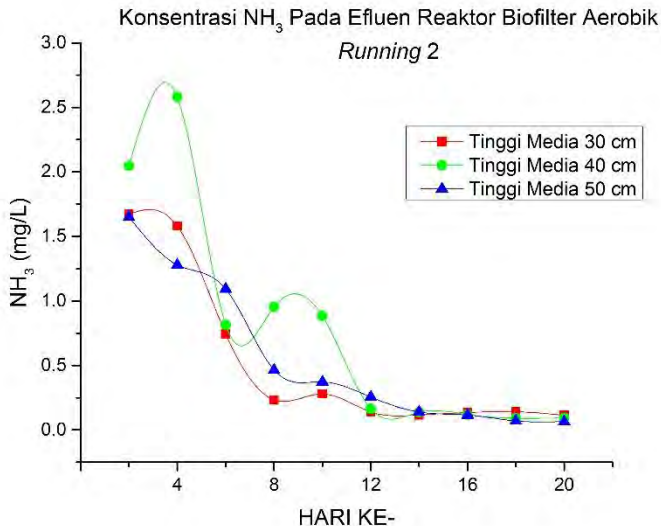
30 cm, 40 cm, dan 50 cm adalah 3,35 mg/l. Konsentrasi NH_3 pada titik sampling efluen reaktor dengan tinggi media 30 cm memiliki nilai rata-rata sebesar 1,29 mg/l. Untuk sampling pertama efluen NH_3 yakni 2,91 mg/l, sampling kedua 1,35 mg/l, sampling ketiga 1,33 mg/l, sampling keempat 1,09 mg/l, sampling kelima 1 mg/l, sampling keenam 0,74 mg/l, dan 0,60 mg/l untuk sampling ketujuh. Removal NH_3 tertinggi sebesar 82% untuk reaktor dengan tinggi media 30 cm, terdapat pada konsentrasi sampling ketujuh, yaitu dengan nilai rata-rata efluen sebesar 0,60 mg/l.

Konsentrasi NH_3 pada titik sampling efluen reaktor dengan tinggi media 40 cm memiliki nilai rata-rata sebesar 1,66 mg/l. Untuk sampling pertama efluen NH_3 yakni 2,81 mg/l, sampling kedua 2,19 mg/l, sampling ketiga 2,07 mg/l, sampling keempat 1,56 mg/l, sampling kelima 1,14 mg/l, sampling keenam 1,05 mg/l, dan 0,84 mg/l untuk sampling ketujuh. Removal NH_3 tertinggi sebesar 75% untuk reaktor dengan tinggi media 40 cm, terdapat pada konsentrasi sampling ketujuh, yaitu dengan nilai rata-rata efluen sebesar 0,84 mg/l.

Konsentrasi NH_3 pada titik sampling efluen reaktor dengan tinggi media 50 cm memiliki nilai rata-rata sebesar 1,03 mg/l. Untuk sampling pertama efluen NH_3 yakni 2,65 mg/l, sampling kedua 1,09 mg/l, sampling ketiga 1,02 mg/l, sampling keempat 0,88 mg/l, sampling kelima 0,84 mg/l, sampling keenam 0,63 mg/l, dan 0,09 mg/l untuk sampling ketujuh. Removal NH_3 tertinggi sebesar 97% untuk reaktor dengan tinggi media 50 cm, terdapat pada konsentrasi sampling ketujuh, yaitu dengan nilai rata-rata efluen sebesar 0,09 mg/l.

Setelah dilakukan *running* reaktor yang pertama, tahap selanjutnya yakni *running* kedua reaktor. Dimana pada *running* yang kedua ini, operasional biofilter aerob ini dilakukan dengan kondisi menggunakan aerasi intermitten 12 jam. Pada *running* reaktor, yang dilakukan adalah analisis influen air limbah tambak udang yang merupakan tahap awal dan dilanjutkan dengan uji analisa sampling efluen di masing masing reaktor sesuai dengan parameter yang dikaji. Untuk analisis NH_3 kali ini dilakukan analisa dengan rentang waktu setiap 2 hari sekali dan didapatkan konsentrasi serta hasil removal dalam masing masing reaktor seperti yang terlampir. Hasil analisa NH_3 untuk *running* 2 dapat dilihat seperti pada Gambar 4.25 berupa data grafik dan diuraikan

dalam tabel 28-30 pada lampiran B dan analisis laboratorium untuk NH_3 ditampilkan pada gambar 4.23. Analisis NH_3 dilakukan dengan menggunakan *Nesslerization Method* serta pembacaan nilai absorbansinya menggunakan spektrofotometer visual sesuai dengan yang telah diuraikan dalam lampiran A.



Gambar 4.25 Konsentrasi NH_3 Pada Reaktor dengan Aerasi Intermitten 12 Jam

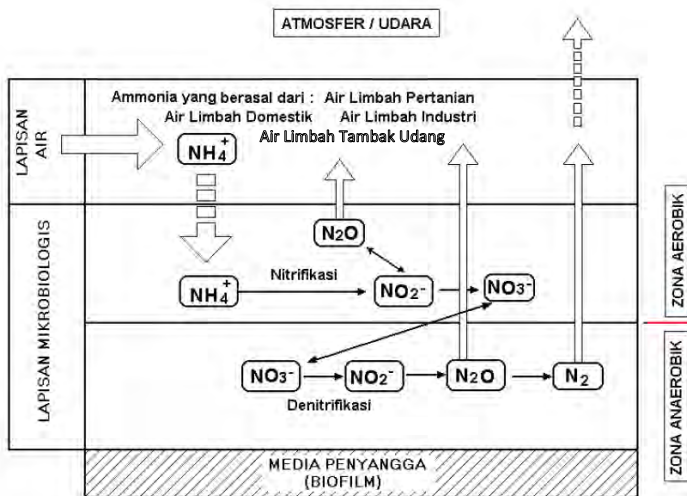
Berdasarkan data hasil analisis laboratorium rata-rata konsentrasi NH_3 influen aktual untuk reaktor dengan tinggi media 30 cm, 40 cm, dan 50 cm adalah 3,23 mg/l. Konsentrasi NH_3 pada titik sampling efluen reaktor dengan tinggi media 30 cm memiliki nilai rata-rata sebesar 0,52 mg/l. Untuk sampling hari kedua efluen NH_3 yakni 1,68 mg/l, sampling hari keempat 1,58 mg/l, sampling hari keenam 0,75 mg/l, sampling hari kedelapan 0,23 mg/l, sampling hari kesepuluh 0,28 mg/l, sampling hari kedua belas 0,14 mg/l, sampling hari keempat belas 0,12 mg/l, sampling hari keenam belas 0,14 mg/l, sampling hari kedelapan belas 0,14 mg/l, dan 0,11 mg/l untuk sampling hari kedua puluh. Removal NH_3 tertinggi sebesar 96% untuk reaktor dengan tinggi media 30 cm,

terdapat pada konsentrasi sampling kedua puluh, yaitu dengan nilai rata-rata efluen sebesar 0,114 mg/l.

Konsentrasi NH_3 pada titik sampling efluen reaktor dengan tinggi media 40 cm memiliki nilai rata-rata sebesar 0,79 mg/l. Untuk sampling hari kedua efluen NH_3 yakni 2,05 mg/l, sampling hari keempat 2,58 mg/l, sampling hari keenam 0,82 mg/l, sampling hari kedelapan 0,95 mg/l, sampling kesepuluh 0,88 mg/l, sampling hari hari kedua belas 0,16 mg/l, sampling hari keempat belas 0,14 mg/l, sampling hari keenam belas 0,12 mg/l, sampling hari kedelapan belas 0,09 mg/l, dan 0,09 mg/l untuk sampling hari kedua puluh. Removal NH_3 tertinggi sebesar 97% untuk reaktor dengan tinggi media 30 cm, terdapat pada konsentrasi sampling kedua puluh, yaitu dengan nilai rata-rata efluen sebesar 0,09 mg/l.

Konsentrasi NH_3 pada titik sampling efluen reaktor dengan tinggi media 50 cm memiliki nilai rata-rata sebesar 1,03 mg/l. Untuk sampling hari kedua efluen NH_3 yakni 1,65 mg/l, sampling hari keempat 1,28 mg/l, sampling hari keenam 1,09 mg/l, sampling hari kedelapan 0,47 mg/l, sampling hari kesepuluh 0,37 mg/l, sampling hari kedua belas 0,26 mg/l, sampling hari keempat belas 0,14 mg/l, sampling hari keenam belas 0,12 mg/l, sampling hari kedelapan belas 0,07 mg/l, dan 0,07 mg/l untuk sampling hari kedua puluh. Removal NH_3 tertinggi sebesar 98% untuk reaktor dengan tinggi media 30 cm, terdapat pada konsentrasi sampling kedua puluh, yaitu dengan nilai rata-rata efluen sebesar 0,07 mg/l.

Pada zona aerobik di dalam biofilm, nitrogen-ammonium akan diubah menjadi nitrit dan nitrat selanjutnya pada zona anaerobik nitrat yang terbentuk mengalami proses denitrifikasi menjadi gas nitrogen. Oleh karena didalam sistem biofilm terjadi kondisi anaerobik dan aerobik pada saat yang bersamaan maka dengan sistem tersebut proses penghilangan senyawa nitrogen khususnya ammonia menjadi lebih mudah. Hal ini secara sederhana ditunjukkan seperti pada Gambar 4.26.



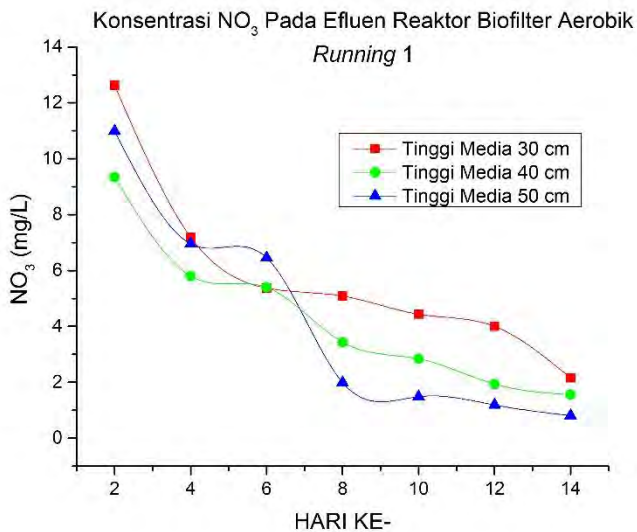
Gambar 4.26 Mekanisme Penghilangan Ammonia Di Dalam Proses Biofilter
Sumber : Said, 2005

4.6.3 Penurunan Konsentrasi Nitrat

Pada *running* reaktor, yang dilakukan adalah analisis influen air limbah tambak udang yang merupakan tahap awal dan dilanjutkan dengan uji analisa sampling efluen di masing masing reaktor sesuai dengan parameter yang dikaji. Untuk analisis Nitrat kali ini dilakukan analisa dengan rentang waktu setiap 2 hari sekali dan didapatkan konsentrasi serta hasil removal dalam masing masing reaktor seperti yang terlampir. Hasil analisa NO₃ untuk *running* 1 dapat dilihat seperti pada Gambar 4.28 berupa data grafik dan diuraikan dalam tabel 31-33 pada lampiran B dan analisis laboratorium untuk NH₃ ditampilkan pada gambar 4.27 dibawah ini. Analisis NH₃ dilakukan dengan menggunakan *Brucine Acetate* serta pembacaan nilai absorbansinya menggunakan spektrofotometer visual sesuai dengan yang telah diuraikan dalam lampiran A.



Gambar 4.27 Analisa Nitrat



Gambar 4.28 Konsentrasi NO_3 Pada Reaktor dengan Aerasi 48 Jam

Berdasarkan data hasil analisis laboratorium rata-rata konsentrasi NO_3 influen aktual untuk reaktor dengan tinggi media 30 cm, 40 cm, dan 50 cm adalah 13,82 mg/l. Konsentrasi NO_3 pada titik sampling efluen reaktor dengan tinggi media 30 cm memiliki

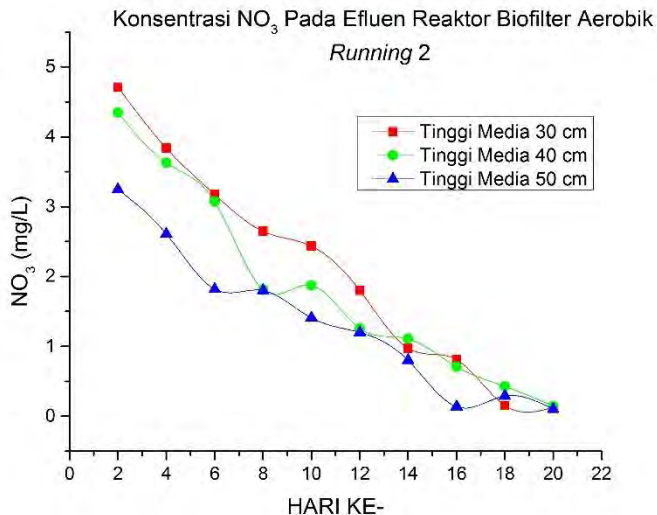
nilai rata-rata sebesar 6 mg/l. Untuk sampling hari kedua efluen NO_3 yakni 12,62 mg/l, sampling hari keempat 7,19 mg/l, sampling hari keenam 5,37 mg/l, sampling hari kedelapan 5,09 mg/l, sampling hari kesepuluh 4,44 mg/l, sampling hari kedua belas 4,00 mg/l, dan 2,15 mg/l untuk sampling keempat belas. Removal NO_3 tertinggi sebesar 84% untuk reaktor dengan tinggi media 30 cm, terdapat pada konsentrasi sampling keempat belas, yaitu dengan nilai rata-rata efluen sebesar 2,15 mg/l.

Konsentrasi NO_3 pada titik sampling efluen reaktor dengan tinggi media 40 cm memiliki nilai rata-rata sebesar 4 mg/l. Untuk sampling hari kedua efluen NO_3 yakni 9,35 mg/l, sampling hari keempat 5,8 mg/l, sampling hari keenam 5,4 mg/l, sampling hari kedelapan 3,44 mg/l, sampling hari kesepuluh 2,85 mg/l, sampling hari kedua belas 1,94 mg/l, dan 1,56 mg/l untuk sampling keempat belas. Removal NO_3 tertinggi sebesar 89% untuk reaktor dengan tinggi media 40 cm, terdapat pada konsentrasi sampling keempat belas, yaitu dengan nilai rata-rata efluen sebesar 1,56 mg/l.

Konsentrasi NO_3 pada titik sampling efluen reaktor dengan tinggi media 50 cm memiliki nilai rata-rata sebesar 4 mg/l. Untuk sampling hari kedua efluen NO_3 yakni 10,98 mg/l, sampling hari keempat 6,95 mg/l, sampling hari keenam 6,45 mg/l, sampling hari kedelapan 1,99 mg/l, sampling hari kesepuluh 1,49 mg/l, sampling hari kedua belas 1,19 mg/l, dan 0,81 mg/l untuk sampling keempat belas. Removal NO_3 tertinggi sebesar 94% untuk reaktor dengan tinggi media 50 cm, terdapat pada konsentrasi sampling keempat belas, yaitu dengan nilai rata-rata efluen sebesar 0,81 mg/l.

Setelah dilakukan *running* reaktor yang pertama, tahap selanjutnya yakni *running* kedua reaktor. Dimana pada *running* yang kedua ini, operasional biofilter aerob ini dilakukan dengan kondisi menggunakan aerasi intermitten 12 jam. Pada *running* reaktor, yang dilakukan adalah analisis influen air limbah tambak udang yang merupakan tahap awal dan dilanjutkan dengan uji analisa sampling efluen di masing masing reaktor sesuai dengan parameter yang dikaji. Untuk analisis NO_3 kali ini dilakukan analisa dengan rentang waktu setiap 2 hari sekali dan didapatkan konsentrasi serta hasil removal dalam masing masing reaktor seperti yang terlampir. Hasil analisa NO_3 untuk *running* 2 dapat dilihat seperti pada Gambar 4.29 berupa data grafik dan diuraikan

dalam tabel 34-36 pada lampiran B dan analisis laboratorium untuk NO_3 ditampilkan pada gambar 4.27. Analisis NO_3 dilakukan dengan menggunakan *Brucine Acetate* serta pembacaan nilai absorbansinya menggunakan spektrofotometer visual sesuai dengan yang telah diuraikan dalam lampiran A.



Gambar 4.29 Konsentrasi NO_3 Pada Reaktor dengan Aerasi Intermitten 12 Jam

Berdasarkan data hasil analisis laboratorium rata-rata konsentrasi NO_3 influen aktual untuk reaktor dengan tinggi media 30 cm, 40 cm, dan 50 cm adalah 8,18 mg/l. Konsentrasi NO_3 pada titik sampling efluen reaktor dengan tinggi media 30 cm memiliki nilai rata-rata sebesar 2,07 mg/l. Untuk sampling hari kedua efluen NO_3 yakni 4,71 mg/l, sampling hari keempat 3,84 mg/l, sampling hari keenam 3,17 mg/l, sampling hari kedelapan 2,65 mg/l, sampling hari kesepuluh 2,44 mg/l, sampling hari kedua belas 1,80 mg/l, sampling hari keempat belas 0,97 mg/l, sampling hari keenam belas 0,81 mg/l, sampling hari kedelapan belas 0,16 mg/l, dan 0,13 mg/l untuk sampling hari kedua puluh. Removal NO_3 tertinggi sebesar 98% untuk reaktor dengan tinggi media 30 cm,

terdapat pada konsentrasi sampling hari kedua puluh, yaitu dengan nilai rata-rata efluen sebesar 0,13 mg/l.

Konsentrasi NO_3 pada titik sampling efluen reaktor dengan tinggi media 40 cm memiliki nilai rata-rata sebesar 1,84 mg/l. Untuk sampling hari kedua efluen NO_3 yakni 4,35 mg/l, sampling hari keempat 3,63 mg/l, sampling hari keenam 3,07 mg/l, sampling hari kedelapan 1,81 mg/l, sampling hari kesepuluh 1,87 mg/l, sampling hari kedua belas 1,26 mg/l, sampling hari keempat belas 1,11 mg/l, sampling hari keenam belas 0,71 mg/l, sampling hari kedelapan belas 0,43 mg/l, dan 0,15 mg/l untuk sampling hari kedua puluh. Removal NO_3 tertinggi sebesar 98% untuk reaktor dengan tinggi media 40 cm, terdapat pada konsentrasi sampling hari kedua puluh, yaitu dengan nilai rata-rata efluen sebesar 0,15 mg/l.

Konsentrasi NO_3 pada titik sampling efluen reaktor dengan tinggi media 50 cm memiliki nilai rata-rata sebesar 1,34 mg/l. Untuk sampling hari kedua efluen NO_3 yakni 3,25 mg/l, sampling hari keempat 2,61 mg/l, sampling hari keenam 1,82 mg/l, sampling hari kedelapan 1,80 mg/l, sampling hari kesepuluh 1,41 mg/l, sampling hari kedua belas 1,20 mg/l, sampling hari keempat belas 0,80 mg/l, sampling hari keenam belas 0,14 mg/l, sampling hari kedelapan belas 0,29 mg/l, dan 0,10 mg/l untuk sampling hari kedua puluh. Removal NO_3 tertinggi sebesar 99% untuk reaktor dengan tinggi media 50 cm, terdapat pada konsentrasi sampling hari kedua puluh, yaitu dengan nilai rata-rata efluen sebesar 0,1 mg/l.

Proses pengolahan air limbah yang mengandung ammonia secara biologis melibatkan proses pengolahan secara aerobik. Proses aerob merupakan proses oksidasi senyawa ammonia menjadi senyawa transisi nitrit selanjutnya diikuti proses oksidasi nitrit menjadi senyawa nitrat yang stabil. Proses aerob ini lebih dikenal dengan istilah nitrifikasi.

- **Proses Nitrifikasi**

Nitrifikasi merupakan suatu proses transformasi senyawa nitrogen dari nitrogen ammonia (N-NH_4^+) menjadi nitrogen nitrat (N-NO_3^-). *Nitrosomonas* mengoksidasi ammonia menjadi nitrit dan dioksidasi lebih lanjut menjadi nitrat oleh bakteri *Nitrobacter* dalam kondisi aerob.

Nitrosomonas dan *Nitrobacter* merupakan bakteri nitrifikasi yang paling berperan dalam proses biologis oksidasi

ammonium menjadi nitrat. Transformasi nitrifikasi dari ammonium menjadi nitrat melibatkan dua tahapan yaitu :

a. Tahap Nitritasi

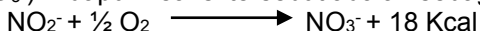
Tahap ini merupakan tahap oksidasi ion ammonium (NH_4^+) menjadi ion nitrit (NO_2^-) yang melibatkan bakteri *Nitrosomonas*, seperti *Nitrosomonas europaea*, *Nitrosomonas oligocarbogenes*. Reaksi yang terjadi adalah :



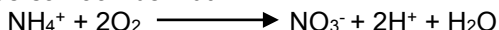
Reaksi ini memerlukan 3,43 gram O_2 untuk mengoksidasi 1 gram nitrogen menjadi nitrit.

b. Tahap Nitrasi

Pada tahap kedua proses nitrifikasi, mikroba yang berperan adalah kelompok *nitrobacter* seperti *Nitrobacter agilis*, *Nitrobacter winogradski*, bakteri ini mengoksidasi ion nitrit menjadi ion nitrat (NO_3^-). Adapun reaksi tersebut adalah sebagai berikut :



Reaksi ini memerlukan 1,14 gr O_2 untuk mengoksidasi 1 gr nitrogen menjadi nitrat. Secara keseluruhan proses nitrifikasi dapat dilihat dari persamaan berikut :



Kedua reaksi di atas berlangsung secara eksotermik. Proses nitrifikasi merupakan proses biologis yang melibatkan bakteri aerob, pertumbuhan bakteri ini dipengaruhi oleh :

a. Oksigen Terlarut (*Dissolved Oxygen*)

Konsentrasi oksigen terlarut dalam proses penyisihan ammonia mempunyai peranan penting karena dapat mempengaruhi pertumbuhan bakteri dan aktifitasnya. Menurut Wurhmann (1962) dan Painter (1970), konsentrasi oksigen terlarut dalam reaktor proses nitrifikasi minimum adalah 2 mg/l, artinya bila konsentrasi oksigen terlarutnya dibawah 2 mg/l maka proses nitrifikasi terganggu. Rata – rata kandungan oksigen terlarut dari masing - masing reaktor adalah 5 mg/l, 5,2 mg/l, 4,9 mg/l berurutan pada reaktor dengan tinggi media 30 cm, 40 cm, dan 50 cm. Kandungan oksigen terlarut yang cukup dalam masing – masing reaktor menyebabkan proses nitrifikasi dapat berlangsung dengan baik dan sejalan dengan proses penyisihan Ammonia dan Nitrat pada reaktor biofilter aerob.

b. Temperatur

Temperatur optimum bagi bakteri *Nitrosomonas* adalah 35°C dan temperatur optimum bakteri *Nitrobacter* adalah 35°C-42°C. Sementara itu rentang temperatur dalam masing – masing reaktor merupakan suhu kamar yakni antara 25°C – 30°C sehingga didapatkan removal Ammonia maupun Nitrat tidak 100 % dikarenakan bakteri – bakteri tersebut sedang tidak berada dalam temperature optimumnya.

c. pH

pH optimum untuk proses nitrifikasi adalah antara 7,5 – 8,5. Meskipun bakteri nitrifikasi sensitive terhadap pH, mereka mempunyai kemampuan untuk menyesuaikan pada nilai pH di luar jarak optimum. pH optimum nitrifikasi adalah 8,4, pada pH 7 efisiensi masih dapat dicapai sebesar 80% dan 90% dari laju maksimal proses nitrifikasi berlangsung pada pH 7,8 – 8,9 sedangkan pada pH diluar 7,0 – 9,8 laju proses yang terjadi adalah kurang dari 50%. Laju proses nitrifikasi akan menurun pada pH 6,3 – 6,7 dan pada pH 5 – 5,5 proses nitrifikasi akan berhenti. Rata – rata pH dari masing - masing reaktor adalah 8.26, 8.3, 8.3, berurutan pada reaktor dengan tinggi media 30 cm, 40 cm, dan 50 cm. pH yang cukup dalam masing – masing reaktor menyebabkan proses nitrifikasi dapat berlangsung dengan baik dan sejalan dengan proses penyisihan Ammonia dan Nitrat pada reaktor biofilter aerob.

d. Waktu detensi (td)

Waktu detensi adalah lamanya waktu kontak antara air buangan dengan mikroorganisme pengurai dalam reaktor. Lamanya waktu detensi yang digunakan akan mempengaruhi efektivitas proses pengolahan. Pada penelitian ini waktu tinggal reaktor yang direncanakan cukup lama yakni 48 jam sehingga penyisihan ammonia dan nitrat dapat dilakukan dengan optimal.

e. Konsentrasi Nitrogen Ammonia

Ammonia dapat menghambat pertumbuhan bakteri nitrifikasi bila konsentrasinya lebih besar dari 750 mg/l sedangkan konsentrasi ammonia diatas 1000 mg/l akan bersifat toksik terhadap bakteri nitrifikasi. Influen air limbah budidaya tambak udang memiliki konsentrasi ammonia sebesar 3,35 mg/l

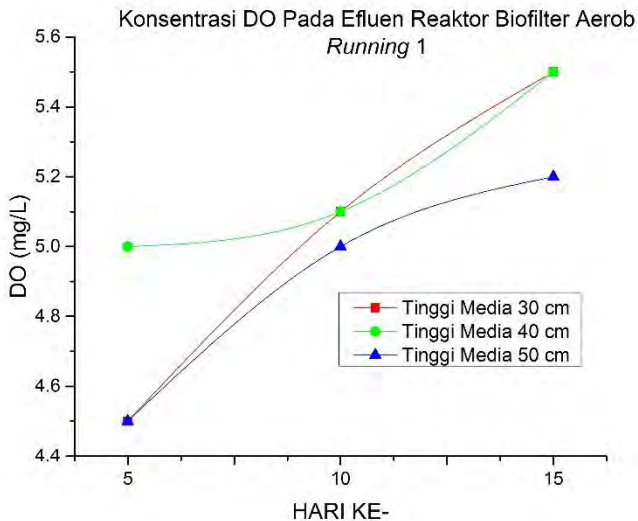
sehingga tidak menghambat pertumbuhan bakteri nitrifikasi yang terdapat dalam reaktor biofilter aerobik.

4.7 Peningkatan Konsentrasi DO

Selanjutnya dalam *running* reaktor, yang dilakukan adalah analisis influen air limbah tambak udang yang merupakan tahap awal dan dilanjutkan dengan uji analisa sampling efluen di masing masing reaktor sesuai dengan parameter yang dikaji. Untuk analisis DO kali ini dilakukan analisa dengan rentang waktu setiap 5 hari sekali dan didapatkan konsentrasi serta peningkatan DO yang terjadi dalam masing masing reaktor seperti yang terlampir. Hasil analisa DO untuk *running* 1 dapat dilihat seperti pada Gambar 4.31 berupa data grafik dan diuraikan dalam tabel 37-40 pada lampiran B dan analisis laboratorium untuk DO ditampilkan pada gambar 4.30. Analisis DO dilakukan dengan prinsip winkler yaitu reaksi oksidasi zat organik dengan oksigen yang terkandung dalam air oleh mikroorganisme sesuai dengan yang telah diuraikan dalam lampiran A.



Gambar 4.30 Analisis DO



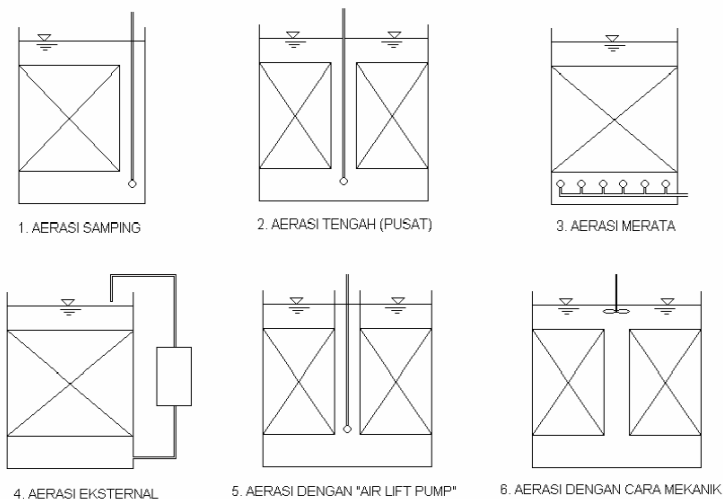
Gambar 4.31 Konsentrasi DO Pada Reaktor dengan Aerasi 48 Jam

Berdasarkan data hasil analisis laboratorium rata-rata konsentrasi DO influen aktual untuk reaktor dengan tinggi media 30 cm, 40 cm, dan 50 cm adalah 4,2 mg/l. Konsentrasi DO pada titik sampling efluen reaktor dengan tinggi media 30 cm memiliki nilai rata-rata sebesar 5 mg/l. Untuk sampling hari kelima efluen DO yakni 4,5 mg/l, sampling hari kesepuluh 5,1 mg/l, dan 5,5 mg/l untuk sampling hari kelima belas. Peningkatan DO tertinggi sebesar 31% untuk reaktor dengan tinggi media 30 cm, terdapat pada konsentrasi sampling hari kelima belas, yaitu dengan nilai rata-rata efluen sebesar 5,5 mg/l.

Konsentrasi DO pada titik sampling efluen reaktor dengan tinggi media 40 cm memiliki nilai rata-rata sebesar 5,2 mg/l. Untuk sampling hari kelima efluen DO yakni 5 mg/l, sampling hari kesepuluh 5,1 mg/l, dan 5,5 mg/l untuk sampling hari kelima belas. Peningkatan DO tertinggi sebesar 31% untuk reaktor dengan tinggi media 40 cm, terdapat pada konsentrasi sampling kelima belas, yaitu dengan nilai rata-rata efluen sebesar 5,5 mg/l.

Konsentrasi DO pada titik sampling efluen reaktor dengan tinggi media 50 cm memiliki nilai rata-rata sebesar 4,9 mg/l. Untuk sampling hari kelima efluen DO yakni 4,5 mg/l, sampling hari kesepuluh 5 mg/l, dan 5,2 mg/l untuk sampling hari kelima belas. Peningkatan DO tertinggi sebesar 24% untuk reaktor dengan tinggi media 50 cm, terdapat pada konsentrasi sampling kelima belas, yaitu dengan nilai rata-rata efluen sebesar 5,2 mg/l.

Di dalam proses pengolahan air limbah dengan sistem biofilter tercelup aerobik, sistem suplai udara dapat dilakukan dengan berbagai cara, tetapi yang sering digunakan adalah seperti yang tertera pada Gambar 4.32. Beberapa cara yang sering digunakan antara lain aerasi samping, aerasi tengah (pusat), aerasi merata seluruh permukaan, aerasi eksternal, aerasi dengan "air lift pump", dan aerasi dengan sistem mekanik. Masing – masing cara mempunyai keuntungan dan kekurangan. Sistem aerasi juga tergantung dari jenis media maupun efesiensi yang diharapkan. Penyerapan oksigen dapat terjadi disebabkan terutama karena aliran sirkulasi atau aliran putar kecuali pada sistem aerasi merata seluruh permukaan media.



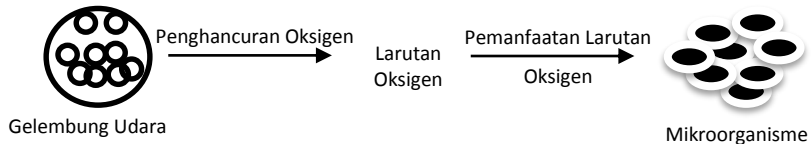
Gambar 4.32 Beberapa Metoda Aerasi Untuk Proses Pengolahan Air Limbah Dengan Sistem Biofilter Tercelup

Di dalam penelitian ini dimana proses biofilter yang dipilih dengan sistem aerasi merata, lapisan mikroorganisme yang melekat pada permukaan media mudah terlepas, sehingga seringkali proses menjadi tidak stabil. Tetapi di dalam sistem aerasi melalui aliran putar, kemampuan penyerapan oksigen hampir sama dengan sistem aerasi melalui aliran putar, kemampuan penyerapan oksigen hampir sama dengan sistem aerasi dengan menggunakan diffuser, oleh karena itu untuk penambahan jumlah beban yang besar sulit dilakukan. Berdasarkan hal tersebut diatas belakangan ini penggunaan sistem aerasi merata banyak dilakukan karena mempunyai kemampuan penyerapan oksigen yang besar.

Jika kemampuan penyerapan oksigen besar maka tentunya dapat digunakan untuk mengolah air limbah dengan beban organik (*organik loading*) yang besar pula. Oleh karena itu diperlukan juga media biofilter yang dapat melekatkan mikroorganisme dalam jumlah yang besar. Biasanya untuk media biofilter dari bahan anorganik, semakin kecil diameternya luas permukaannya semakin besar seperti halnya Bioball yang digunakan dalam penelitian ini sehingga jumlah mikroorganisme yang dapat dibiakkan juga menjadi besar pula. Sementara itu penetapan aliran *up flow* dan *down flow* disertai dengan aliran udara dari *air stone* pada aerasi merata mempunyai tujuan yakni untuk memenuhi kebutuhan oksigen dari mikroorganisme aerob. Arah aliran cunter current antara air limbah dengan udara / oksigen bertujuan untuk meningkatkan waktu kontak antara udara dan air limbah budidaya tambak udang yang diolah pada penelitian ini dan untuk meningkatkan jumlah tumbukan antara udara dan air limbah.

Transfer oksigen dalam proses aerobik terjadi dalam dua tahap proses : yaitu pertama, gelembung udara dilarutkan dalam air limbah yang disebarkan oleh aerator. Kemudian larutan oksigen diserap oleh mikroorganisme dalam metabolisme dari bahan organik yang terdapat dalam limbah. Jika kecepatan dari penggunaan melebihi kecepatan penyebaran maka larutan oksigen dalam campuran cairan akan habis. Yang paling utama pada pengolahan dengan metode aerasi adalah, pengaturan penyediaan udara pada kompartemen yang berisi media bioball dimana bakteri aerob akan memakan bahan organik di dalam air limbah dengan bantuan O_2 . Penyediaan ini bertujuan untuk

meingkatkan kenyamanan lingkungan dan kondisi sehingga bakteri pemakan bahan organik dapat tumbuh dan berkembang dengan baik. Secara umum penggunaan oksigen dalam proses aerobik mikroorganisme memerlukan udara 10 mg/L/jam (Hammer, 2004). Transfer oksigen dalam proses aerobik dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



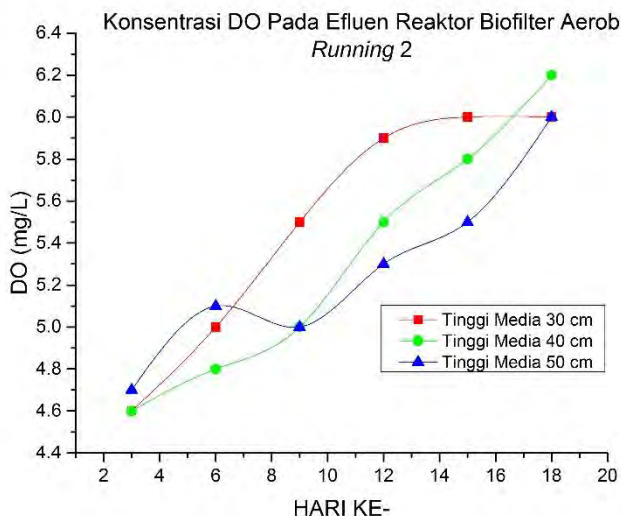
Gambar 4.33 Transfer Oksigen dalam Proses Aerobik

Sumber : Hammer, 2004

Setelah dilakukan *running* reaktor yang pertama, tahap selanjutnya yakni *running* kedua reaktor. Dimana pada *running* yang kedua ini, operasional biofilter aerob ini dilakukan dengan kondisi menggunakan aerasi intermitten 12 jam. Pada *running* reaktor, yang dilakukan adalah analisis influen air limbah tambak udang yang merupakan tahap awal dan dilanjutkan dengan uji analisa sampling efluen di masing masing reaktor sesuai dengan parameter yang dikaji. Untuk analisis DO kali ini dilakukan analisa dengan rentang waktu setiap 3 hari sekali dan didapatkan konsentrasi serta hasil removal dalam masing masing reaktor seperti yang terlampir. Hasil analisa DO untuk *running* 2 dapat dilihat seperti pada Gambar 4.34 berupa data grafik dan diuraikan dalam tabel 41-43 pada lampiran B dan analisis laboratorium untuk DO ditampilkan pada gambar 4.30. Analisis DO dilakukan dengan prinsip winkler yaitu reaksi oksidasi zat organik dengan oksigen yang terkandung dalam air oleh mikroorganisme sesuai dengan yang telah diuraikan dalam lampiran A.

Berdasarkan data hasil analisis laboratorium rata-rata konsentrasi DO influen aktual untuk reaktor dengan tinggi media 30 cm, 40 cm, dan 50 cm adalah 5.5 mg/l. Konsentrasi DO pada titik sampling efluen reaktor dengan tinggi media 30 cm memiliki nilai rata-rata sebesar 5,5 mg/l. Untuk sampling hari ketiga efluen DO yakni 4,6 mg/l, sampling hari keenam 5 mg/l, sampling hari kesembilan 5.5 mg/l, sampling hari kedua belas 5,9 mg/l, sampling hari kelima belas 6 mg/l dan 6 mg/l untuk sampling hari kedelapan

belas. Peningkatan DO tertinggi sebesar 9% untuk reaktor dengan tinggi media 30 cm, terdapat pada konsentrasi sampling hari kelima belas dan hari kedelapan belas, yaitu dengan nilai rata-rata efluen sebesar 6 mg/l.



Gambar 4.34 Konsentrasi DO Pada Reaktor dengan Aerasi Intermiten 12 Jam

Konsentrasi DO pada titik sampling efluen reaktor dengan tinggi media 40 cm memiliki nilai rata-rata sebesar 5,32 mg/l. Untuk sampling hari ketiga efluen DO yakni 4,6 mg/l, sampling hari keenam 4,8 mg/l, sampling hari kesembilan 5 mg/l, sampling hari kedua belas 5,5 mg/l, sampling hari kelima belas 5,8 mg/l dan 6,2 mg/l untuk sampling hari kedelapan belas. Peningkatan DO tertinggi sebesar 13% untuk reaktor dengan tinggi media 40 cm, terdapat pada konsentrasi sampling hari kedelapan belas, yaitu dengan nilai rata-rata efluen sebesar 6,2 mg/l.

Konsentrasi DO pada titik sampling efluen reaktor dengan tinggi media 50 cm memiliki nilai rata-rata sebesar 5,26 mg/l. Untuk sampling hari ketiga efluen DO yakni 4,7 mg/l, sampling hari keenam 5,1 mg/l, sampling hari kesembilan 5 mg/l, sampling hari

kedua belas 5,3 mg/l, sampling hari kelima belas 5,5 mg/l dan 6 mg/l untuk sampling hari kedelapan belas. Peningkatan DO tertinggi sebesar 9% untuk reaktor dengan tinggi media 50 cm, terdapat pada konsentrasi sampling hari kedelapan belas, yaitu dengan nilai rata-rata efluen sebesar 6 mg/l.

Dari tabel 4.1 nilai DO pada influen air limbah tambak udang adalah 4,2 mg/l. Setelah dilakukan proses pengolahan DO yang terkandung dalam efluen pada air limbah cenderung naik dan didapatkan tren dari masing – masing reaktor. Rendahnya nilai DO disebabkan tingginya polutan organik yang terkandung dalam air limbah. Hal ini sesuai dengan pendapat Wigyanto *et al* (2009) yang menyatakan semakin besar bahan organik dalam air limbah maka nilai BOD akan semakin tinggi dan DO akan semakin rendah.

Penambahan oksigen dibutuhkan ketika pengolahan dilakukan secara aerob sehingga digunakan aerator dan *air stone* untuk memecah udara menjadi gelembung kecil dalam air limbah. Setelah dilakukan pengolahan terhadap air limbah budidaya tambak udang didapatkan hasil rata – rata kandungan DO masing – masing reaktor adalah 5 mg/l untuk reaktor dengan tinggi media 30 cm, 5,2 mg/l untuk reaktor dengan tinggi media 40 cm, dan 4,9 mg/l untuk reaktor dengan tinggi media 50 cm.

Sementara itu dari hasil statistik menyebutkan bahwa reaktor 30 cm adalah reaktor yang menghasilkan peningkatan DO tertinggi. Pada reaktor biofilter aerob ini, bakteri membutuhkan suatu nutrisi yang berupa nitrogen dan fosfat yang terdapat pada air limbah tambak udang. Bakteri dapat mendekomposisi nutrisi tersebut dengan melihat jumlah kadar oksigen dan lingkungan yang tercukupi.

Selain itu, bakteri akan mengeluarkan karbondioksida (CO_2) dari proses metabolisme dan mendekomposisi nutrisi tersebut. Sehingga didapatkan kesimpulan bahwa semakin rendah tinggi media filter maka semakin tinggi pula peningkatan DO yang dihasilkan. Sebaliknya, semakin tinggi media filter maka semakin rendah pula kandungan DO yang terdapat dalam reaktor. Hal ini disebabkan oleh semakin tinggi media filter maka semakin banyak pula mikroorganisme yang menempel dan membentuk biofilm di dalam media bioball. Sejalan dengan banyaknya mikroorganisme di reaktor, O_2 dibutuhkan untuk sintesa sel serta pendegradasian air limbah.

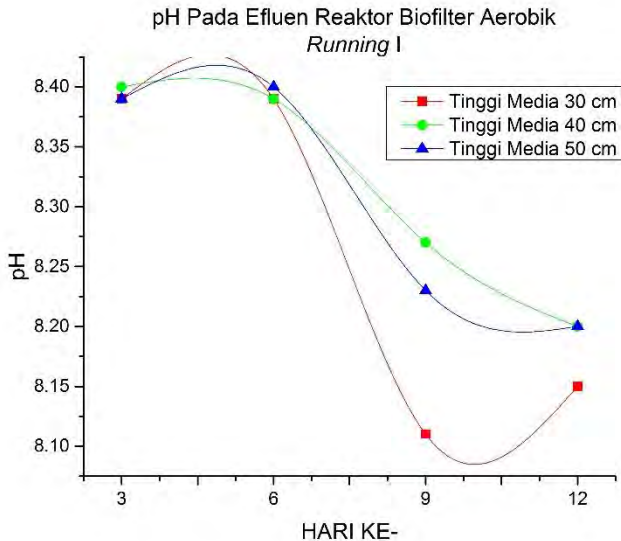
Secara keseluruhan, kandungan oksigen terlarut selama pengujian pada reaktor proses aerob telah mampu mendukung untuk kehidupan mikroorganisme. Selain itu, jika limbah budidaya tambak udang tersebut dibuang keperairan tidak akan mengganggu kehidupan mikroorganisme perairan. Hal ini sesuai dengan pendapat Salmin (2005) yang menyatakan bahwa kandungan oksigen terlarut (DO) minimum adalah 2 mg/l dalam keadaan normal dan tidak tercemar oleh senyawa beracun (toksik). Kandungan oksigen terlarut minimum ini sudah cukup mendukung kehidupan organisme perairan.

4.8 pH

Sementara itu dalam *running* reaktor setelah yang dilakukan analisis influen dan effluen air limbah tambak udang yang masuk dan keluar di masing masing reaktor sesuai dengan parameter yang dikaji, dilakukan juga uji tambahan pada air limbah di influen dan effluen masing masing reaktor. Untuk analisis pH kali ini dilakukan analisa dengan rentang waktu setiap 3 hari sekali dan didapatkan fluktuasi pH yang terjadi dalam masing masing reaktor seperti yang terlampir. Hasil analisa pH untuk *running* 1 dapat dilihat seperti pada Gambar 4.36 berupa data grafik dan diuraikan dalam tabel 43-45 pada lampiran B dan analisis laboratorium untuk pH ditampilkan pada gambar 4.35. Analisis pH dilakukan dengan menggunakan *Electronic Method* (pH meter) yakni alat *Basic pH meter-03771* sesuai dengan yang telah diuraikan dalam lampiran A.

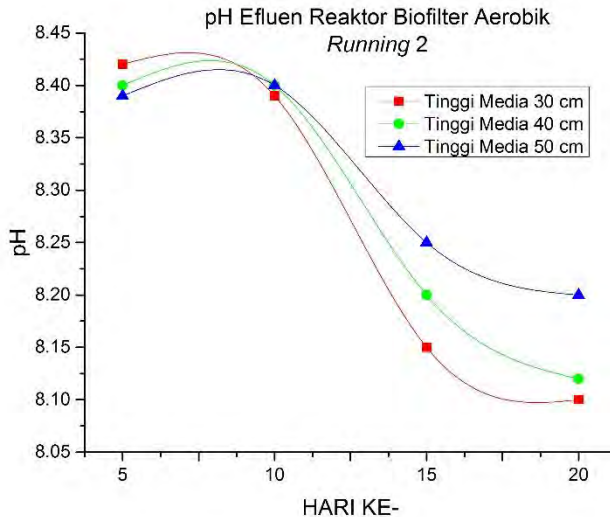


Gambar 4.35 Analisis pH



Gambar 4.36 pH Pada Reaktor dengan Aerasi 48 Jam

Setelah dilakukan *running* reaktor yang pertama, tahap selanjutnya yakni *running* kedua reaktor. Dimana pada *running* yang kedua ini, operasional biofilter aerob ini dilakukan dengan kondisi menggunakan aerasi intermitten 12 jam. Pada *running* reaktor, yang dilakukan adalah analisis influen air limbah tambak udang yang merupakan tahap awal dan dilanjutkan dengan uji analisa sampling efluen di masing masing reaktor sesuai dengan parameter yang dikaji. Untuk analisis pH kali ini dilakukan analisa dengan rentang waktu setiap 5 hari sekali dan didapatkan konsentrasi serta hasil removal dalam masing masing reaktor seperti yang terlampir. Hasil analisa pH untuk *running* 2 dapat dilihat seperti pada Gambar 4.37 berupa data grafik dan diuraikan dalam tabel 46-49 pada lampiran B dan analisis laboratorium untuk pH ditampilkan pada gambar 4.35. Analisis pH dilakukan dengan menggunakan *Electronic Method* (pH meter) yakni alat *Basic pH meter-03771* sesuai dengan yang telah diuraikan dalam lampiran A.



Gambar 4.37 pH Pada Reaktor dengan Aerasi Intermiten 12 Jam

Seperti yang telah diuraikan diatas, ada tiga reaksi biokimia yang terjadi dalam oksidasi biologis aerobik yaitu : sintesis, respirasi endogenus dan nitrifikasi. Adapun faktor – faktor yang mempengaruhi adalah salah satunya adalah efek pH.

Bakteri memerlukan nilai pH antara 6,5 – 7,5. Berdasarkan daerah aktivitas pH pada kehidupan mikroorganisme dibedakan atas tiga golongan (Lee, 1992).

- Mikroorganisme *asidofilik*, yaitu jasad yang dapat tumbuh pada pH antara 2,0 – 5,0.
- Mikroorganisme *mesofilik (Neutrofilik)*, yaitu jasad yang dapat tumbuh pada pH antara 5,5 – 8,0
- Mikroorganisme *alkalifilik*, yaitu jasad yang dapat tumbuh pada pH antara 8,4 – 9,4.

Setelah dianalisa, rentang pH pada masing – masing reaktor berkisar antara 8,1-8,42. Oleh karena itu dapat ditelaah bahwa mikroorganisme yang terkandung dalam reaktor biofilter merupakan mikroorganisme *alkalifilik*. Selain itu pH

yang optimal juga dapat mendukung kemampuan mikroorganisme dalam menguraikan polutan dalam air limbah.

4.9 Suhu

Seperti yang telah diuraikan diatas, ada tiga reaksi biokimia yang terjadi dalam oksidasi biologis aerobik yaitu : sintesis, respirasi endogenus dan nitrifikasi. Adapun faktor – faktor yang mempengaruhi selain pH adalah efek temperature / suhu.

Variasi temperature mempengaruhi semua proses biologis. Berdasarkan daerah aktivitas temperature bagi kehidupan mikroorganisme dibagi atas 3 golongan (Lee, 1992).

- a. Mikroorganisme *psikrofilik*, adalah golongan mikroorganisme yang dapat tumbuh pada daerah temperatur antara 30°C , dengan temperatur optimum 15°C . Kebanyakan dari golongan ini tumbuh ditempat-tempat dingin baik didarat maupun di air.
- b. Mikroorganisme *mesofilik*, adalah golongan mikroorganisme yang dapat tumbuh pada daerah tempratur optimum antara $25-37^{\circ}\text{C}$, minimum 15°C dan maksimum 55°C .
- c. Mikroorganisme *termofilik*, adalah golongan mikroorganisme yang dapat tumbuh pada daerah temperature tinggi, optimum antara $55-60^{\circ}\text{C}$, minimum 40°C dan maksimum 75°C .

Setelah dianalisa, suhu pada masing – masing reaktor berkisar antara $25-30^{\circ}\text{C}$ dimana merupakan suhu kamar. Oleh karena itu dapat ditelaah bahwa mikroorganisme yang terkandung dalam reaktor biofilter merupakan mikroorganisme *mesofilik*. Selain itu suhu yang optimal juga dapat mendukung kemampuan mikroorganisme dalam menguraikan polutan dalam air limbah di masing-masing reaktor.

4.10 Perbandingan Rasio BOD : COD

Meskipun dalam beberapa tingkat mikroorganisme mampu menyesuaikan diri terhadap perubahan-perubahan kondisi lingkungan, namun beberapa kebutuhan dasar harus dipenuhi pada saat proses biologi berlangsung. Pemenuhan kebutuhan-kebutuhan dasar ini dilakukan dengan membuat desain yang tepat dan melaksanakan pengoperasian yang memenuhi syarat.

Air limbah yang diolah salah satunya bersifat biodegradable (dapat diuraikan secara bilogi). Rasio BOD:COD merupakan indikasi pertama dari kemampuan biodegradable. Rasio

BOD:COD air limbah secara aerobik yang berkisar antara 0,5-0,6 menandakan bahwa air limbah tersebut mudah diolah. Sementara itu Rasio BOD:COD yang mendekati nol menunjukkan bahwa air limbah tersebut mengandung substansi yang bersifat toksik. Sementara itu untuk BOD:COD dimana memiliki rasio seperti yang dijabarkan dalam literatur yakni 0,5-0,6 merupakan rasio dimana apabila removalnya mencapai 100%. Oleh karena itu hasil perbandingan rasio di lapangan tidak sama seperti di literatur dikarenakan removal dari tiap-tiap reaktor berbeda dan <100%.

- a. Perbandingan Rasio Rata – Rata Konsentrasi BOD dan COD Sebelum dan Sesudah Pengolahan pada Reaktor Biofilter Aerob *Running* 1

Tabel 4.6 Rasio Konsentrasi Rata – Rata BOD dan COD Reaktor A

REAKTOR A (TINGGI MEDIA 30 CM)	KONSENTRASI (mg/l)		RATIO BOD:COD
	BOD	COD	
Sebelum Pengolahan	294	331.08	0.9
Setelah Pengolahan	127.00	133.79	0.9

Tabel 4.7 Rasio Konsentrasi Rata – Rata BOD dan COD Reaktor B

REAKTOR B (TINGGI MEDIA 40 CM)	KONSENTRASI (mg/l)		RATIO BOD:COD
	BOD	COD	
Sebelum Pengolahan	294	331.08	0.9
Setelah Pengolahan	86	105.36	0.8

Tabel 4.8 Rasio Konsentrasi Rata – Rata BOD dan COD Reaktor C

REAKTOR C (TINGGI MEDIA 50 CM)	KONSENTRASI (mg/l)		RATIO BOD:COD
	BOD	COD	
Sebelum Pengolahan	294	331.08	0.9
Setelah Pengolahan	68	87.77	0.8

- b. Perbandingan Rasio Konsentrasi pada Removal Tertinggi BOD dan COD Sebelum dan Sesudah Pengolahan pada Reaktor Biofilter Aerob *Running* 1

Tabel 4.9 Rasio Konsentrasi pada Removal Tertinggi BOD dan COD Reaktor A

REAKTOR A (TINGGI MEDIA 30 CM)	KONSENTRASI (mg/l)		RATIO BOD:COD
	BOD	COD	
Sebelum Pengolahan	294	331.08	0.9
Setelah Pengolahan	56	71.81	0.8

Tabel 4.10 Rasio Konsentrasi pada Removal Tertinggi BOD dan COD Reaktor B

REAKTOR B (TINGGI MEDIA 40 CM)	KONSENTRASI (mg/l)		RASIO BOD:COD
	BOD	COD	
Sebelum Pengolahan	294	331.08	0.9
Setelah Pengolahan	41	47.30	0.9

Tabel 4.11 Rasio Konsentrasi pada Removal Tertinggi BOD dan COD Reaktor C

REAKTOR C (TINGGI MEDIA 50 CM)	RATIO		RASIO BOD:COD
	BOD	COD	
Sebelum Pengolahan	294	331.08	0.9
Setelah Pengolahan	22	33.78	0.7

- c. Perbandingan Rasio Konsentrasi pada Removal Terendah BOD dan COD Sebelum dan Sesudah Pengolahan pada Reaktor Biofilter Aerob *Running 1*

Tabel 4.12 Rasio Konsentrasi pada Removal Terendah BOD dan COD Reaktor A

REAKTOR A (TINGGI MEDIA 30 CM)	KONSENTRASI (mg/l)		RASIO BOD:COD
	BOD	COD	
Sebelum Pengolahan	294	331.08	0.9
Setelah Pengolahan	173	203.89	0.8

Tabel 4.13 Rasio Konsentrasi pada Removal Terendah BOD dan COD Reaktor B

REAKTOR B (TINGGI MEDIA 40 CM)	KONSENTRASI (mg/l)		RASIO BOD:COD
	BOD	COD	
Sebelum Pengolahan	294	331.08	0.9
Setelah Pengolahan	152	185.41	0.8

Tabel 4.14 Rasio Konsentrasi pada Removal Terendah BOD dan COD Reaktor C

REAKTOR C (TINGGI MEDIA 50 CM)	KONSENTRASI (mg/l)		RASIO BOD:COD
	BOD	COD	
Sebelum Pengolahan	294	331.08	0.9
Setelah Pengolahan	144	168.65	0.9

- d. Perbandingan Rasio Rata – Rata Konsentrasi BOD dan COD Sebelum dan Sesudah Pengolahan pada Reaktor Biofilter Aerob *Running 2*

Tabel 4.15 Rasio Konsentrasi Rata – Rata BOD dan COD Reaktor A

REAKTOR A (TINGGI MEDIA 30 CM)	KONSENTRASI (mg/l)		RATIO BOD:COD
	BOD	COD	
Sebelum Pengolahan	224	407.50	0.5
Setelah Pengolahan	43.50	95.47	0.5

Tabel 4.16 Rasio Konsentrasi Rata – Rata BOD dan COD Reaktor B

REAKTOR B (TINGGI MEDIA 40 CM)	KONSENTRASI (mg/l)		RATIO BOD:COD
	BOD	COD	
Sebelum Pengolahan	224	407.50	0.5
Setelah Pengolahan	33	83.97	0.4

Tabel 4.17 Rasio Konsentrasi Rata – Rata BOD dan COD Reaktor C

REAKTOR C (TINGGI MEDIA 50 CM)	KONSENTRASI (mg/l)		RATIO BOD:COD
	BOD	COD	
Sebelum Pengolahan	224	407.50	0.5
Setelah Pengolahan	21.5	82.47	0.3

- e. Perbandingan Rasio Konsentrasi pada Removal Tertinggi BOD dan COD Sebelum dan Sesudah Pengolahan pada Reaktor Biofilter Aerob *Running 2*

Tabel 4.18 Rasio Konsentrasi pada Removal Tertinggi BOD dan COD Reaktor A

REAKTOR A (TINGGI MEDIA 30 CM)	KONSENTRASI (mg/l)		RASIO BOD:COD
	BOD	COD	
Sebelum Pengolahan	224	407.50	0.5
Setelah Pengolahan	15.00	58.11	0.3

Tabel 4.19 Rasio Konsentrasi pada Removal Tertinggi BOD dan COD Reaktor B

REAKTOR B (TINGGI MEDIA 40 CM)	KONSENTRASI (mg/l)		RATIO BOD:COD
	BOD	COD	
Sebelum Pengolahan	224	407.50	0.5
Setelah Pengolahan	19	54.06	0.4

Tabel 4.20 Rasio Konsentrasi pada Removal Tertinggi BOD dan COD Reaktor C

REAKTOR C (TINGGI MEDIA 50 CM)	RATIO		RATIO BOD:COD
	BOD	COD	
Sebelum Pengolahan	224	407.50	0.5
Setelah Pengolahan	15	40.54	0.4

- f. Perbandingan Rasio Konsentrasi pada Removal Terendah BOD dan COD Sebelum dan Sesudah Pengolahan pada Reaktor Biofilter Aerob *Running 2*

Tabel 4.21 Rasio Konsentrasi pada Removal Terendah BOD dan COD Reaktor A

REAKTOR A (TINGGI MEDIA 30 CM)	KONSENTRASI (mg/l)		RASIO BOD:COD
	BOD	COD	
Sebelum Pengolahan	224	407.50	0.5
Setelah Pengolahan	88.00	175.68	0.5

Tabel 4.22 Rasio Konsentrasi pada Removal Terendah BOD dan COD Reaktor B

REAKTOR B (TINGGI MEDIA 40 CM)	KONSENTRASI (mg/l)		RASIO BOD:COD
	BOD	COD	
Sebelum Pengolahan	224	407.50	0.5
Setelah Pengolahan	50	168.91	0.3

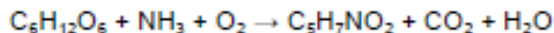
Tabel 4.23 Rasio Konsentrasi pada Removal Terendah BOD dan COD Reaktor C

REAKTOR C (TINGGI MEDIA 50 CM)	KONSENTRASI (mg/l)		RASIO BOD:COD
	BOD	COD	
Sebelum Pengolahan	224	407.50	0.5
Setelah Pengolahan	30	142.57	0.2

4.11 Perbandingan Rasio COD : N : P

Ketika melakukan pengolahan pada air limbah, biasanya dimulai dengan rasio COD:N:P sebesar 100:5:1 untuk proses pengolahan secara aerobik dan 250:5:1 untuk pengolahan secara anaerobik (Metcalf and Eddy, 1991). Bahan organik karbon disederhanakan sebagai glukosa dengan rumus $C_6H_{12}O_6$ sementara biomassa diberikan formula $C_5H_7NO_2$. Setelah degradasi bahan organik maka biomassa akan diproduksi. Massa biomassa yang diproduksi dibagi dengan massa organik, hal ini disebut dengan koefisien yield. Dalam biomassa rumus, jumlah nitrogen 12,3% dari biomassa.

Reaksi pada proses degradasi adalah sebagai berikut :



Dalam persamaan di atas, rasio yang dibutuhkan dari C:N di air limbah menjadi 100:5 ketika koefisien yield adalah 0.41. Jika fosfor yang terkandung dan diasumsikan 20% dari massa nitrogen, rumus kimia biomassa menjadi $C_5H_7NO_2P_{0.074}$ (Droste,

1997), dan rasio yang dibutuhkan menjadi 100: 5: 1. Penentuan rasio ini diasumsikan bahwa efisiensi removal adalah 100%. Sementara itu, karakteristik tiap air limbah yang berbeda juga menghasilkan biomassa yang berbeda pula sehingga tidak diperhitungkan. Oleh karena itu untuk mengetahui kebutuhan nutrisi, kita harus memperhitungkan hasil mikroba dan efisiensi removal COD. Memberikan rasio antara COD:N:P juga kurang akurat dikarenakan hal ini tidak memperhitungkan faktor yang disebutkan sebelumnya (hasil biomassa dan efisiensi). Hal ini terutama berlaku untuk sistem pengolahan air limbah yang memiliki konsentrasi serta efisiensi penyisihan yang rendah (Maier, 1999).

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, untuk pengolahan air limbah secara aerobik, rasio C:N:P yang dibutuhkan dalam air limbah harus 100:5:1 dimana diasumsikan bahwa removal COD adalah 100%, sementara itu kandungan nitrogen dari biomassa adalah 12,3% dan koefisien hasil yang diamati adalah 0,41. Dalam kasus yang diamati yield (Y_{obs} atau *Observed Biomass Yield*.) berbeda dari 0,41, dan penghapusan efisiensi (E) berbeda dari 100%, COD: N rasio diperlukan dalam air limbah akan $0.41 (100) / EY_{obs}$: 5, atau $41 / EY_{obs}$: 5. Jika konten fosfor diasumsikan 20% dari kandungan nitrogen maka rasio diperlukan COD:N:P di reaktor aerobik harus dihitung dari rumus berikut $41 / EY_{obs}$: 5: 1 (Eckenfelder, 1989).

Sementara itu pada penelitian kali ini, parameter serta uji analisis di laboratorium yang dilakukan adalah kandungan BOD, COD, Ammonia (NH_3), Nitrat (NO_3), Phospat (PO_4^{3-}), serta DO. Sehingga tidak dapat dilakukan penentuan Total N untuk membandingkan rasio air limbah budidaya tambak udang Vannamei di desa Cerme, Gresik sebelum dan sesudah mengalami pengolahan di reaktor biofilter dengan rasio yang ada dalam literatur. Selain itu, data analisis yang dimiliki adalah konsentrasi PO_4^{3-} dimana kondisi P pada penentuan rasio merupakan Ortofosfat yakni bentuk fosfor yang dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan akuatik secara langsung. Sehingga perlu dilakukan perhitungan total P terlebih dahulu untuk memperoleh nilai P yang akan digunakan dalam penentuan rasio COD:N:P.

4.12 Hasil Anova *Two Way*

a. Penyisihan Parameter COD

Untuk memastikan perlakuan tinggi media dan sistem aerasi yakni aerasi intermitten 12 jam dan aerasi 48 jam dimana memberikan hasil yang berbeda pada parameter yang di analisis dilakukan pengujian Anova *Two Way* . Dalam pengujian ini yang dianalisis adalah uji multi variatennya yaitu dari tinggi media dan sistem aerasinya. Dikatakan ada perbedaan apabila signifikansi uji $F < 0.05$. Jika terdapat perbedaan antar kelompok dilanjutkan dengan uji Duncan. Jika tingkat signifikansi uji Duncan < 0.05 maka ada perbedaan antar pasangan kelompok.

Penulisan notasi pada kolom tinggi media merepresentasikan variasi tinggi media yang dilakukan yakni 30 cm = a, 40 cm = b, dan 50 cm = c. Sehingga setelah dilakukan uji Duncan didapatkan hasil berupa apakah ada perbedaan antar pasangan kelompok atau tidak. Sementara itu untuk variasi sistem aerasi tidak dapat dilakukan uji lanjutan Duncan dikarenakan variasi sistem aerasi < 2 yakni aerasi 48 jam dan aerasi intermitten 12 jam saja sehingga tidak bisa dilakukan pengamatan dalam bentuk pasangan kelompok.

Tabel 4.24 Uji Anova Penyisihan Parameter COD

TINGGI MEDIA	SISTEM AERASI	MEAN	STANDART DEVIATION	SIG. F TINGGI MEDIA	SIG. F SISTEM AERASI	SIG. F Interaksi Tinggi Media* Sistem Aerasi
30 cm ^{abc}	Intermitten 12 jam	76.50	9.16	0.253	0.010	0.587
	48 jam	59.50	20.49			
40 cm ^{abc}	Intermitten 12 jam	79.50	8.37			
	48 jam	68.25	18.34			
50 cm ^{abc}	Intermitten 12 jam	79.70	10.11			
	48 jam	73.50	18.16			

Dari hasil diatas dapat dilihat bahwa reaktor manakah yang paling baik dalam menghasilkan removal tertinggi dalam kandungan COD adalah reaktor dengan tinggi media 50 cm sistem aerasi intermitten 12 jam, dilanjutkan reaktor dengan tinggi media 40 cm aerasi intermitten 12 jam, reaktor dengan tinggi media 30 cm aerasi intermitten 12 jam, reaktor dengan tinggi media 50 cm

aerasi 48 jam, reaktor dengan tinggi media 40 cm aerasi 48 jam, dan reaktor dengan tinggi media 30 cm aerasi 48 jam.

Hasil pengujian Anova diperoleh tingkat signifikansi 0.253 untuk perlakuan variasi tinggi media yang berarti tidak ada perbedaan antar reaktor dalam removal COD dan tingkat signifikansi 0.010 untuk perlakuan variasi sistem aerasi yang berarti ada perbedaan antar reaktor dalam removal COD.

Hasil pengujian Anova untuk interaksi antara tinggi media dan sistem aerasi diperoleh tingkat signifikansi 0.587 yang berarti tidak ada perbedaan antar reaktor dalam removal COD. Oleh karena tidak ada perbedaan antar reaktor tidak perlu dilanjutkan dengan uji Duncan. Hasil pengujian Duncan menunjukkan antara reaktor dengan tinggi media 30 cm dan 40 cm, 40 dan 50, dan 30 dan 50 dengan sistem aerasi intermitten 12 jam dan aerasi 48 jam tidak ada beda signifikan dalam removal COD.

b. Penyisihan Parameter BOD_5

Untuk memastikan perlakuan tinggi media dan sistem aerasi yakni aerasi intermitten 12 jam dan aerasi 48 jam dimana memberikan hasil yang berbeda pada parameter yang di analisis dilakukan pengujian Anova *Two Way*. Dalam pengujian ini yang dianalisis adalah uji multi variatennya yaitu dari tinggi media dan sistem aerasinya. Dikatakan ada perbedaan apabila signifikansi uji $F < 0.05$. Jika terdapat perbedaan antar kelompok dilanjutkan dengan uji Duncan. Jika tingkat signifikansi uji Duncan < 0.05 maka ada perbedaan antar pasangan kelompok.

Penulisan notasi pada kolom tinggi media merepresentasikan variasi tinggi media yang dilakukan yakni 30 cm = a, 40 cm = b, dan 50 cm = c. Sehingga setelah dilakukan uji Duncan didapatkan hasil berupa apakah ada perbedaan antar pasangan kelompok atau tidak. Sementara itu untuk variasi sistem aerasi tidak dapat dilakukan uji lanjutan Duncan dikarenakan variasi sistem aerasi < 2 yakni aerasi 48 jam dan aerasi intermitten 12 jam saja sehingga tidak bisa dilakukan pengamatan dalam bentuk pasangan kelompok.

Tabel 4.25 Uji Anova Penyisihan Parameter BOD₅

TINGGI MEDIA	SISTEM AERASI	MEAN	STANDART DEVIATION	SIG. F TINGGI MEDIA	SIG. F SISTEM AERASI	SIG. F Interaksi Tinggi Media* Sistem Aerasi
30 cm ^{abc}	Intermitten 12 jam	80.50	12.24	0.095	0.004	0.712
	48 jam	57.00	21.17			
40 cm ^{abc}	Intermitten 12 jam	85.33	5.05			
	48 jam	70.67	20.03			
50 cm ^{abc}	Intermitten 12 jam	90.50	2.59			
	48 jam	77.00	22.72			

Dari hasil diatas dapat dilihat bahwa reaktor manakah yang paling baik dalam menghasilkan removal tertinggi dalam kandungan BOD₅ adalah reaktor dengan tinggi media 50 cm sistem aerasi intermitten 12 jam, dilanjutkan reaktor dengan tinggi media 40 cm aerasi intermitten 12 jam, reaktor dengan tinggi media 30 cm aerasi intermitten 12 jam, reaktor dengan tinggi media 50 cm aerasi 48 jam, reaktor dengan tinggi media 40 cm aerasi 48 jam, dan reaktor dengan tinggi media 30 cm aerasi 48 jam.

Hasil pengujian Anova diperoleh tingkat signifikansi 0.095 untuk perlakuan variasi tinggi media yang berarti tidak ada perbedaan antar reaktor dalam removal BOD₅ dan tingkat signifikansi 0.004 untuk perlakuan variasi sistem aerasi yang berarti ada perbedaan antar reaktor dalam removal BOD₅.

Hasil pengujian Anova untuk interaksi antara tinggi media dan sistem aerasi diperoleh tingkat signifikansi 0.712 yang berarti tidak ada perbedaan antar reaktor dalam removal BOD₅. Oleh karena tidak ada perbedaan antar reaktor tidak perlu dilanjutkan dengan uji Duncan. Hasil pengujian Duncan menunjukkan antara reaktor dengan tinggi media 30 cm dan 40 cm, 40 dan 50, dan 30 dan 50 dengan sistem aerasi intermitten 12 jam dan aerasi 48 jam tidak ada beda signifikan dalam removal BOD₅.

c. Penyisihan Parameter PO₄³⁻

Untuk memastikan perlakuan tinggi media dan sistem aerasi yakni aerasi intermitten 12 jam dan aerasi 48 jam dimana memberikan hasil yang berbeda pada parameter yang di analisis dilakukan pengujian Anova *Two Way*. Dalam pengujian ini yang

dianalisis adalah uji multi variatennya yaitu dari tinggi media dan sistem aerasinya. Dikatakan ada perbedaan apabila signifikansi uji $F < 0.05$. Jika terdapat perbedaan antar kelompok dilanjutkan dengan uji Duncan. Jika tingkat signifikansi uji Duncan < 0.05 maka ada perbedaan antar pasangan kelompok.

Penulisan notasi pada kolom tinggi media merepresentasikan variasi tinggi media yang dilakukan yakni 30 cm = a, 40 cm = b, dan 50 cm = c. Sehingga setelah dilakukan uji Duncan didapatkan hasil berupa apakah ada perbedaan antar pasangan kelompok atau tidak. Sementara itu untuk variasi sistem aerasi tidak dapat dilakukan uji lanjutan Duncan dikarenakan variasi sistem aerasi < 2 yakni aerasi 48 jam dan aerasi intermitten 12 jam saja sehingga tidak bisa dilakukan pengamatan dalam bentuk pasangan kelompok.

Tabel 4.26 Uji Anova Penyisihan Parameter PO_4^{3-}

TINGGI MEDIA	SISTEM AERASI	MEAN	STANDART DEVIATION	SIG. F TINGGI MEDIA	SIG. F SISTEM AERASI	SIG. F Interaksi Tinggi Media* Sistem Aerasi
30 cm ^{abc}	Intermitten 12 jam	54.90	8.94	0.400	0.681	0.138
	48 jam	46.43	12.64			
40 cm ^{abc}	Intermitten 12 jam	49.80	20.81			
	48 jam	36.00	16.26			
50 cm ^{abc}	Intermitten 12 jam	33.70	33.12			
	48 jam	48.43	24.32			

Dari hasil diatas dapat dilihat bahwa reaktor manakah yang paling baik dalam menghasilkan removal tertinggi dalam kandungan PO_4^{3-} adalah reaktor dengan tinggi media 30 cm sistem aerasi intermitten 12 jam, dilanjutkan reaktor dengan tinggi media 40 cm aerasi intermitten 12 jam, reaktor dengan tinggi media 50 cm aerasi intermitten 12 jam, reaktor dengan tinggi media 50 cm aerasi 48 jam, reaktor dengan tinggi media 30 cm aerasi 48 jam, dan reaktor dengan tinggi media 40 cm aerasi 48 jam.

Hasil pengujian Anova diperoleh tingkat signifikansi 0.400 untuk perlakuan variasi tinggi media yang berarti tidak ada perbedaan antar reaktor dalam removal PO_4^{3-} dan tingkat

signifikansi 0.681 untuk perlakuan variasi sistem aerasi yang berarti tidak ada perbedaan antar reaktor dalam removal PO_4^{3-} .

Hasil pengujian Anova untuk interaksi antara tinggi media dan sistem aerasi diperoleh tingkat signifikansi 0.138 yang berarti tidak ada perbedaan antar reaktor dalam removal PO_4^{3-} . Oleh karena tidak ada perbedaan antar reaktor tidak perlu dilanjutkan dengan uji Duncan. Hasil pengujian Duncan menunjukkan antara reaktor dengan tinggi media 30 cm dan 40 cm, 40 dan 50, dan 30 dan 50 dengan sistem aerasi intermitten 12 jam dan aerasi 48 jam tidak ada beda signifikan dalam removal PO_4^{3-} .

d. Penyisihan Parameter NH_3

Untuk memastikan perlakuan tinggi media dan sistem aerasi yakni aerasi intermitten 12 jam dan aerasi 48 jam dimana memberikan hasil yang berbeda pada parameter yang di analisis dilakukan pengujian Anova *Two Way*. Dalam pengujian ini yang dianalisis adalah uji multi variatennya yaitu dari tinggi media dan sistem aerasinya. Dikatakan ada perbedaan apabila signifikansi uji $F < 0.05$. Jika terdapat perbedaan antar kelompok dilanjutkan dengan uji Duncan. Jika tingkat signifikansi uji Duncan < 0.05 maka ada perbedaan antar pasangan kelompok.

Penulisan notasi pada kolom tinggi media merepresentasikan variasi tinggi media yang dilakukan yakni 30 cm = a, 40 cm = b, dan 50 cm = c. Sehingga setelah dilakukan uji Duncan didapatkan hasil berupa apakah ada perbedaan antar pasangan kelompok atau tidak. Sementara itu untuk variasi sistem aerasi tidak dapat dilakukan uji lanjutan Duncan dikarenakan variasi sistem aerasi < 2 yakni aerasi 48 jam dan aerasi intermitten 12 jam saja sehingga tidak bisa dilakukan pengamatan dalam bentuk pasangan kelompok.

Tabel 4.27 Uji Anova Penyisihan Parameter NH_3

TINGGI MEDIA	SISTEM AERASI	MEAN	STANDART DEVIATION	SIG. F TINGGI MEDIA	SIG. F SISTEM AERASI	SIG. F Interaksi Tinggi Media* Sistem Aerasi
30 cm ^{abc}	Intermitten 12 jam	84.00	19.10	0.226	0.002	0.735
	48 jam	61.43	22.92			
40 cm ^{abc}	Intermitten 12 jam	75.70	27.35			
	48 jam	50.29	21.51			
50 cm ^{abc}	Intermitten 12 jam	82.90	17.88			
	48 jam	69.14	23.44			

Dari hasil diatas dapat dilihat bahwa reaktor manakah yang paling baik dalam menghasilkan removal tertinggi dalam kandungan NH_3 adalah reaktor dengan tinggi media 30 cm sistem aerasi intermitten 12 jam, dilanjutkan reaktor dengan tinggi media 50 cm aerasi intermitten 12 jam, reaktor dengan tinggi media 40 cm aerasi intermitten 12 jam, reaktor dengan tinggi media 50 cm aerasi 48 jam, reaktor dengan tinggi media 30 cm aerasi 48 jam, dan reaktor dengan tinggi media 40 cm aerasi 48 jam.

Hasil pengujian Anova diperoleh tingkat signifikansi 0.226 untuk perlakuan variasi tinggi media yang berarti tidak ada perbedaan antar reaktor dalam removal NH_3 dan tingkat signifikansi 0.002 untuk perlakuan variasi sistem aerasi yang berarti ada perbedaan antar reaktor dalam removal NH_3 .

Hasil pengujian Anova untuk interaksi antara tinggi media dan sistem aerasi diperoleh tingkat signifikansi 0.735 yang berarti tidak ada perbedaan antar reaktor dalam removal NH_3 . Oleh karena tidak ada perbedaan antar reaktor tidak perlu dilanjutkan dengan uji Duncan. Hasil pengujian Duncan menunjukkan antara reaktor dengan tinggi media 30 cm dan 40 cm, 40 dan 50, dan 30 dan 50 dengan sistem aerasi intermitten 12 jam dan aerasi 48 jam tidak ada beda signifikan dalam removal NH_3 .

e. Penyisihan Parameter NO_3

Untuk memastikan perlakuan tinggi media dan sistem aerasi yakni aerasi intermitten 12 jam dan aerasi 48 jam dimana memberikan hasil yang berbeda pada parameter yang di analisis dilakukan pengujian Anova *Two Way*. Dalam pengujian ini yang

dianalisis adalah uji multi variatennya yaitu dari tinggi media dan sistem aerasinya. Dikatakan ada perbedaan apabila signifikansi uji $F < 0.05$. Jika terdapat perbedaan antar kelompok dilanjutkan dengan uji Duncan. Jika tingkat signifikansi uji Duncan < 0.05 maka ada perbedaan antar pasangan kelompok.

Penulisan notasi pada kolom tinggi media merepresentasikan variasi tinggi media yang dilakukan yakni 30 cm = a, 40 cm = b, dan 50 cm = c. Sehingga setelah dilakukan uji Duncan didapatkan hasil berupa apakah ada perbedaan antar pasangan kelompok atau tidak. Sementara itu untuk variasi sistem aerasi tidak dapat dilakukan uji lanjutan Duncan dikarenakan variasi sistem aerasi < 2 yakni aerasi 48 jam dan aerasi intermitten 12 jam saja sehingga tidak bisa dilakukan pengamatan dalam bentuk pasangan kelompok.

Tabel 4.28 Uji Anova Penyisihan Parameter NO_3

TINGGI MEDIA	SISTEM AERASI	MEAN	STANDART DEVIATION	SIG. F TINGGI MEDIA	SIG. F SISTEM AERASI	SIG. F Interaksi Tinggi Media* Sistem Aerasi
30 cm ^{abc}	Intermitten 12 jam	74.60	12.24	0.340	0.023	0.844
	48 jam	57.72	21.17			
40 cm ^{abc}	Intermitten 12 jam	77.50	5.05			
	48 jam	68.57	20.03			
50 cm ^{abc}	Intermitten 12 jam	83.50	2.59			
	48 jam	69.14	22.72			

Dari hasil diatas dapat dilihat bahwa reaktor manakah yang paling baik dalam menghasilkan removal tertinggi dalam kandungan NO_3 adalah reaktor dengan tinggi media 50 cm sistem aerasi intermitten 12 jam, dilanjutkan reaktor dengan tinggi media 40 cm aerasi intermitten 12 jam, reaktor dengan tinggi media 30 cm aerasi intermitten 12 jam, reaktor dengan tinggi media 50 cm aerasi 48 jam, reaktor dengan tinggi media 40 cm aerasi 48 jam, dan reaktor dengan tinggi media 30 cm aerasi 48 jam.

Hasil pengujian Anova diperoleh tingkat signifikansi 0.340 untuk perlakuan variasi tinggi media yang berarti tidak ada perbedaan antar reaktor dalam removal NO_3 dan tingkat

signifikansi 0.023 untuk perlakuan variasi sistem aerasi yang berarti ada perbedaan antar reaktor dalam removal NO_3 .

Hasil pengujian Anova untuk interaksi antara tinggi media dan sistem aerasi diperoleh tingkat signifikansi 0.844 yang berarti tidak ada perbedaan antar reaktor dalam removal NO_3 . Oleh karena tidak ada perbedaan antar reaktor tidak perlu dilanjutkan dengan uji Duncan. Hasil pengujian Duncan menunjukkan antara reaktor dengan tinggi media 30 cm dan 40 cm, 40 dan 50, dan 30 dan 50 dengan sistem aerasi intermitten 12 jam dan aerasi 48 jam tidak ada beda signifikan dalam removal NO_3 .

f. Peningkatan Parameter DO

Untuk memastikan perlakuan tinggi media dan sistem aerasi yakni aerasi intermitten 12 jam dan aerasi 48 jam dimana memberikan hasil yang berbeda pada parameter yang di analisis dilakukan pengujian Anova *Two Way*. Dalam pengujian ini yang dianalisis adalah uji multi variatennya yaitu dari tinggi media dan sistem aerasinya. Dikatakan ada perbedaan apabila signifikansi uji $F < 0.05$. Jika terdapat perbedaan antar kelompok dilanjutkan dengan uji Duncan. Jika tingkat signifikansi uji Duncan < 0.05 maka ada perbedaan antar pasangan kelompok.

Penulisan notasi pada kolom tinggi media merepresentasikan variasi tinggi media yang dilakukan yakni 30 cm = a, 40 cm = b, dan 50 cm = c. Sehingga setelah dilakukan uji Duncan didapatkan hasil berupa apakah ada perbedaan antar pasangan kelompok atau tidak. Sementara itu untuk variasi sistem aerasi tidak dapat dilakukan uji lanjutan Duncan dikarenakan variasi sistem aerasi < 2 yakni aerasi 48 jam dan aerasi intermitten 12 jam saja sehingga tidak bisa dilakukan pengamatan dalam bentuk pasangan kelompok.

Tabel 4.29 Uji Anova Peningkatan Parameter DO

TINGGI MEDIA	SISTEM AERASI	MEAN	STANDART DEVIATION	SIG. F TINGGI MEDIA	SIG. F SISTEM AERASI	SIG. F Interaksi Tinggi Media* Sistem Aerasi
30 cm ^{abc}	Intermitten 12 jam	0.00	10.47	0.673	0.000	0.735
	48 jam	19.67	12.06			
40 cm ^{abc}	Intermitten 12 jam	-3.33	11.26			
	48 jam	23.67	6.43			
50 cm ^{abc}	Intermitten 12 jam	-4.33	8.24			
	48 jam	16.67	8.74			

Dari hasil diatas dapat dilihat bahwa reaktor manakah yang paling baik dalam menghasilkan peningkatan tertinggi dalam kandungan DO adalah reaktor dengan tinggi media 40 cm sistem aerasi 48 jam, dilanjutkan reaktor dengan tinggi media 30 cm aerasi 48 jam, reaktor dengan tinggi media 50 cm aerasi 48 jam, reaktor dengan tinggi media 30 cm aerasi intermitten 12 jam, reaktor dengan tinggi media 40 cm aerasi intermitten 12 jam, dan reaktor dengan tinggi media 50 cm aerasi intermitten 12 jam.

Hasil pengujian Anova diperoleh tingkat signifikansi 0.673 untuk perlakuan variasi tinggi media yang berarti tidak ada perbedaan antar reaktor dalam peningkatan DO dan tingkat signifikansi 0.000 untuk perlakuan variasi sistem aerasi yang berarti ada perbedaan antar reaktor dalam peningkatan DO.

Hasil pengujian Anova untuk interaksi antara tinggi media dan sistem aerasi diperoleh tingkat signifikansi 0.735 yang berarti tidak ada perbedaan antar reaktor dalam peningkatan DO. Oleh karena tidak ada perbedaan antar reaktor tidak perlu dilanjutkan dengan uji Duncan. Hasil pengujian Duncan menunjukkan antara reaktor dengan tinggi media 30 cm dan 40 cm, 40 dan 50 , dan 30 dan 50 dengan sistem aerasi intermitten 12 jam dan aerasi 48 jam tidak ada beda signifikan dalam peningkatan DO.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Setelah dilakukan analisis terhadap efluen dan influen air limbah budidaya tambak udang pada saat *running* reaktor yakni air limbah yang telah diolah dalam reaktor biofilter aerob didapatkan removal efisiensi dan peningkatan tertinggi masing – masing parameter adalah :
 - Parameter BOD₅ yakni sebesar 93% pada reaktor dengan tinggi media 50 cm sistem aerasi intermitten 12 jam dengan konsentrasi 15 mg/l.
 - Parameter COD yakni sebesar 90% pada reaktor dengan tinggi media 50 cm sistem aerasi 48 jam dengan konsentrasi 33.78 mg/l.
 - Parameter PO₄³⁻ yakni sebesar 88% pada reaktor dengan tinggi media 50 cm sistem aerasi 48 jam dengan konsentrasi 0.78 mg/l.
 - Parameter NH₃ yakni sebesar 97% pada reaktor dengan tinggi media 50 cm sistem aerasi intermitten 12 jam dengan konsentrasi 0.07 mg/l.
 - Parameter NO₃ yakni sebesar 94% pada reaktor dengan tinggi media 50 cm sistem aerasi 48 jam dengan konsentrasi 0.81 mg/l.
 - Parameter DO tertinggi yakni sebesar 31% pada reaktor dengan tinggi media 30 cm sistem aerasi 48 jam dengan konsentrasi 5.5 mg/l.

Semua parameter kecuali PO₄³⁻ sudah memenuhi baku mutu efluen limbah tambak udang yang akan dibuang ke badan air menurut Kepmen. Kelautan dan Perikanan No: KEP.28/MEN/2004.
2. Untuk analisis pengaruh variasi tinggi media dan efek aerasi pada *running* 1 dan *running* 2 ini dapat disimpulkan bahwa untuk penyisihan polutan air limbah dan peningkatan konsentrasi oksigen terlarut dimana parameter yang diuji yakni COD, BOD, Amonia, Nitrat, dan DO didapatkan hasil bahwa tidak ada beda dalam perlakuan variasi tinggi media tetapi ada beda pada perlakuan variasi sistem aerasi, sementara itu

untuk parameter PO_4^{3-} didapatkan hasil tidak ada beda dalam perlakuan variasi tinggi media maupun sistem aerasi.

5.2 Saran

- Untuk penelitian selanjutnya dilakukan penentuan variabel beban organik dan tinggi media agar didapatkan korelasi antar variabel dengan kinerja biofilter.
- Untuk meningkatkan performansi reaktor biofilter ini dalam penyisihan nutrient khususnya parameter PO_4^{3-} dapat dilakukan kombinasi fitobiofilter dengan menambahkan *fitotreatment* sehingga konsentrasi efluent air limbah budidaya tambak udang dapat memenuhi baku mutu Kepmen. Kelautan dan Perikanan No: KEP.28/MEN/2004.
- Setelah dilakukan *running* reaktor didapatkan hasil bahwa tidak ada beda signifikan dari perlakuan variasi tinggi media pada parameter yang dianalisis pada masing – masing reaktor. Hal ini dikarenakan selisih dari tinggi media filter hanya 10 cm, dimana untuk menganalisa performa dari reaktor tidak jauh beda dengan reaktor lainnya. Sehingga untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat menggunakan variasi tinggi media dengan rentang yang cukup lebar di masing – masing reaktornya agar didapatkan hasil yang lebih signifikan terhadap performansi reaktor dalam penyisihan polutan dan peningkatan kandungan oksigen terlarut.
- Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi untuk para petambak udang *vannamei* di Desa Cerme Kabupaten Gresik dimana reaktor biofilter aerob dengan menggunakan media bioball tinggi 30 cm menggunakan sistem aerasi intermitten 12 jam ini dapat menjadi alternatif yang mudah, murah dari segi finansial, dan hemat energi dalam hal pengolahan lebih lanjut terhadap air limbah budidaya tambak udang yang akan dibuang ke badan air terdekat yakni Kali Lamong.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2004. Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia Nomor: KEP.28/MEN/2004
Tentang : *Pedoman Umum Budidaya Udang di Tambak*.
- Anonim. 2004. Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor: KEP.51/MEN/2004 Tentang :
Baku Mutu Air Laut.
- Anonim. 2012. *Food and Agriculture Organization. The State Of World Fisheries and Aquaculture*. Rome-Italy
- Anonim. 2014. Fixed Film Forum.
<http://www.fixedfilmforum.com/q-and-a-forum/submerged-biological-filters/> diakses pada tanggal 7 November 2014.
- Abel, P. D. 1989. *Water Pollution Biology*. Chichester, England : Ellis Horwood Limited. 231.
- Anh, P. T., Kroeze, Carolien, Bush, S. R., dan Mol, A. P. J. 2010. *Pollution by Intensive Brackish Shrimp Farming in South-East Vietnam: Causes and Options for Control*. Agricultural Water Management, 97, 6. 872-882.
- Borkar, R.P., Gulhane, M.L., dan Kotangale, A.J. 2013. *Moving Bed Biofilm Reactor – A New Perspective in Wastewater Treatment*. IOSR Journal of Environmental Science Toxicology and Food Technology, 6, 6. 15-21.
- Boyd, C. E. 1982. *Water Quality Management For Fish Culture*. New York : Elsevier Scientific Publishing Company. 318.
- Boyd, C. E. 1989. *Water Quality Management and Aeration in Shrimp Farming*. United States: Alabama Agricultural Experiment Station. 83.
- Boyd, C. E. 1990. *Water Quality in Ponds For Aquaculture*. United States : Alabama Agricultural Experiment Station. 482.
- Boyd, C. E. 2000. *Case studies of world shrimp farming*. Global Aquaculture Alliance, The Advocate, 3, 2. 11-12.
- Dall, W., dan Smith, D. M. 1986. *Oxygen consumption and ammonia-N excretion in fed and starved tiger prawns Penaeus esculentus Haswell*. Aquaculture, 55. 23-33.

- Diana, J. S. 2009. *Aquaculture Production and Biodiversity Conservation*. BioScience, 59, 5.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air : Bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta : Kanisius. 258.
- Filizati, M., Apriani, I., dan Zahara, A. T. 2013. *Pengolahan Limbah Cair Domestik dengan Biofilter Aerob Menggunakan Media Bioball dan Tanaman Kiambang*. Pontianak : FMIPA Universitas Tanjungpura
- Garno, Y. S. 2004. *Pengembangan Budidaya Udang dan Potensi Pencemarannya pada Perairan Pesisir*. Jurnal Teknologi Lingkungan P3TL-BPPT, 5(3), 187-192.
- Hadiwidodo, M., Oktiawan, W., Primadani, A. R., Parasmitha, B. N., dan Gunawan, I. 2012. *Pengolahan Air Lindi dengan Proses Kombinasi Biofilter Anaerob-Aerob dan Wetland*. Jurnal Presipitasi, 9, 2. 84-95.
- Herlambang, A. 2002. *Teknologi Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu*. Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan (BPPT) dan Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Samarinda.
- Herlambang, A dan R. Marsidi., 2003. *Proses Denitrifikasi dengan Sistem Biofilter untuk Pengolahan Air Limbah yang Mengandung Nitrat*. Jurnal Teknologi Lingkungan, 4(1), 46-55.
- Hindarko, S. 2003. *Mengolah Air Limbah Supaya Tidak Mencemari Orang Lain*. Jakarta : Penerbit Esha
- Ketut, S. 2012. Artikel Pengolahan Air Limbah Secara Biologi. <http://ketutsumada.blogspot.com/pengolahan-air-limbah-secara-biologi.html> / diakses Tanggal 25 Desember 2014
- Khan, M. M. T., Chapman, T., Cochran, K., dan Schuler, A. J. 2013. *Attachment Surface Energy Effects on Nitrification Estrogen Removal Rates by Biofilms for Improved Wastewater Treatment*. Water Research, 47(7), 2190-2198.
- Kibria, G., Nugegoda, D., Lam, P., dan Fairclough, R. 1996. *Aspects of phosphorus pollution from aquaculture*. Naga, The ICLARM Quarterly. 20-24.
- Kusuma, B. A., Sutrisno, E., dan Sumiyati, S. 2012. *Penurunan Kadar BOD dan Amonia Pada Air Limbah*

- Domestik Menggunakan Teknologi Biofilm dengan Media Filter Bunga Film, Potongan Bambu, dan Bioball.* Semarang : Universitas Diponegoro.
- Lavania-Baloo., Azman, S., Said, M. I. M., Ahmad, F., dan Mohamad, M. 2014. *Biofiltration Potential of Macroalgae for Ammonium Removal in Outdoor Tank Shrimp Wastewater Recirculation System.* Biomass and Bioenergy, 66(6), 103-109.
- Leungprasert, S., dan Chanakul, P., 2010. *The Reuse of Shrimp Culture Wastewater Treated by Nitrification and Denitrification Processes.* International Journal of Environmental Science and Development, 1(5), 371-377.
- Liu, X. Y., Ou, T.Y., Yuan, D.X., dan Wu, X.Y. 2010. *Study Of Municipal Wastewater Treatment With Oyster Shell As Biological Aerated Filter Medium .* Journal of Desalination, 254, 149-153.
- Metcalf dan Eddy., Tchobanoglous, G., Burton, F. L., dan Stensel, H. D. 2003. *Wastewater engineering: Treatment and reuse (4th ed.).* New York: McGraw-Hill.
- Nontji, A. 1993. *Laut Nusantara.* Jakarta : Penerbit Djambatan. 367.
- Nyanti, Lee, Berundang, G., dan Yee, L. T. 2011. *Shrimp Pond Effluent Quality during Harvesting and Pollutant Loading Estimation using Simpson's Rule.* International Journal of Applied Science and Technology, 1(5), 208-213.
- Novotny, V., dan Olem, H. 1994. *Water Quality: Prevention, Identification, and Management of Diffuse Pollution.* New York : Van Nostrand Reinhold. 1054.
- Odum, E. P. 1971. *Fundamental of Ecology.* Philadelphia : W.B. Saunber Com. 125
- Parwaningtyas, E., Sumiyati, S., dan Sutrisno, E. 2012. *Efisiensi Teknologi Fito-Biofilm dalam Penurunan Kadar Nitrogen dan Fosfat Pada Limbah Domestik dengan Agen Fitotreatment Teratai (nymphaea, sp) dan media biofilter Bioball.* Semarang : Universitas Diponegoro.
- Primavera, J. H. 1998. *Broodstock of sugpo (Penaeus monodon Fab.).* Aquaculture Extension Manual, 4(7).
- Said, N. I. 2000. *Teknologi Pengolahan Air Limbah Dengan Proses Biofilm Tercelup.* Jurnal Teknologi Lingkungan, 1.

- Said, N. I. 2005. *Aplikasi bioball untuk media biofilter studi kasus pengolahan air limbah pencucian jeans*. Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan (BPPT). Jurnal Teknologi Lingkungan, 1(1).
- Said, N. I. 2006. *Aplikasi Proses Biofiltrasi dan Ultra Filtrasi Untuk Pengolahan Air Minum*. Jurnal Air Indonesia, 2(1), 30-42.
- Salmin. 2005. *Oksigen Terlarut (DO dan Kebutuhan Oksigen biologi (BOD) sebagai salah satu indikator untuk menentukan kualitas perairan*. Oseana, 30(3), 21-26
- Shahot, K., Idris, A., Omar, Rozita, dan Yusoff, H. M. 2014. *Review on Biofilm Processes for Wastewater Treatment*. Life Science Journal, 11(11), 1-13.
- Slamet, A., dan Masduqi, A. 2002. *Satuan Operasi*. Surabaya : Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS
- Soewondo, P., dan Yulianto, A. 2008. *The Effect of Aeration Mode On Submerged Aerobic Bio Filter Reactor for Grey Water Treatment*. Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation, 3(3), 169-175.
- Vijayasri, K., Balasubramanian, A., Dhanapal, K., Reddy, G., Vidya S., dan Francis, T. 2013. *Evaluation of Reuse Shrimp Farm Effluent After Chemical and Biological Treatments*. Indian J. Fish, 60(3), 91-98.
- Wetzel, R. G. 2001. *Limnology*. 3rd ed. London : Academic Press. 1006.
- Yang, W-F., Hsing, H-J., Yang Y-C., dan Shyung J-Y. 2007. *The Effect of Selected Parameters on The Nitric Oxide Removal by Biofilter*. National Taiwan University, Taiwan.

LAMPIRAN A

A. PROSEDUR ANALISA PARAMETER

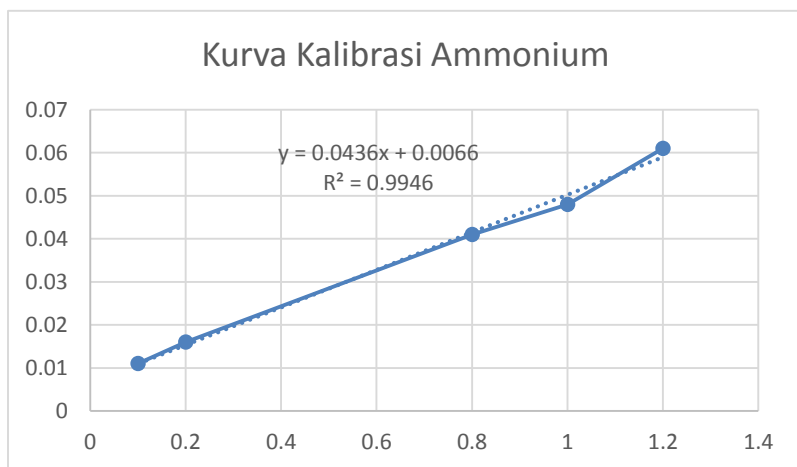
I. Analisa Ammonia (NH_3) dengan Metode Nessler

a) Peralatan dan bahan

1. Gelas ukur 25 mL
2. Erlenmeyer 100 mL
3. Pipet 5 mL
4. Garam Signet
5. Larutan Nessler
6. Spektrofotometer

b) Prosedur kerja analisis: .

- 1) Ambil 25 mL sampel dan masukkan ke dalam labu Erlenmeyer 100 mL
- 2) Tambahkan 1 mL Garam Signet dan 1,25 mL Nessler
- 3) Diamkan selama 10 menit
- 4) Lakukan hal 1-3 pada aquadest sebagai blanko
- 5) Baca dengan spektrofotometer dengan panjang gelombang 410 nm
- 6) Hitung Ammonia Nitrogen dengan rumus dari kurva kalibrasi.



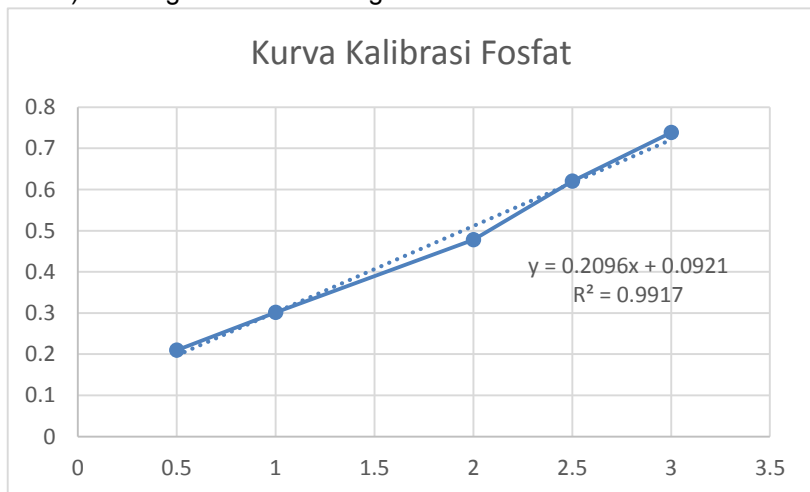
II. Analisa Fosfat (PO_4^{3-}) dengan Metode Spektrofotometer secara Asam Askorbat

a) Peralatan dan bahan

1. Gelas ukur 25 mL
2. Erlenmeyer 100 mL
3. Pipet 5 ml
4. Ammonium Molybdate
5. Larutan Klorid Timah
6. Spektrofotometer

b) Prosedur kerja analisis: .

- 1) Ambil 25 mL sampel dan masukkan ke dalam labu Erlenmeyer 100 mL
- 2) Tambahkan 1 mL Ammonium Molybdate dan 2 tetes Klorid Timah
- 3) Diamkan selama 7 menit
- 4) Lakukan hal 1-3 pada aquadest sebagai blanko
- 5) Baca dengan spektrofotometer dengan panjang gelombang 650 nm
- 6) Hitung nilai Fosfat dengan rumus dari kurva kalibrasi.



III. Analisa BOD₅

1. Bahan

- a. Larutan Buffer Fosfat
- b. Larutan Magnesium Sulfat
- c. Larutan Kalium Klorida
- d. Larutan Feri Klorida
- e. Bubuk Inhibitor Nitrifikasi
- f. Benih atau inoculum, biasanya berasal dari tanah yang subur sebanyak 10 gr diencerkan dengan 100 mL air
- g. Larutan Mangan Sulfat
- h. Larutan Pereaksi Oksigen
- i. Indikator Amilum 0,5%
- j. Asam Sulfat pekat
- k. Larutan Standart Natrium Tiosulfat 0,0125 N
- l. Aerator untuk mengaerasi air pengencer
- m. Drum atau ember untuk air pengencer
- n. Botol winkler 300 mL 2 buah
- o. Botol winkler 150 mL 2 buah
- p. Inkubator dengansuhu 20°C
- q. Labu takar 500 mL 1 buah
- r. Pipet 10 mL, 5 mL
- s. Gelasukur 100 mL 1 buah
- t. Buret 25 mL atau 50 mL
- u. Erlenmeyer 250 mL 1 buah

2. Pembuatan air pengencer

Air pengencer ini tergantung banyaknya sampel yang akan dianalisis dan pengencerannya, prosedurnya:

- a. Tambahkan 1 mL larutan Buffer Fosfat per liter air
- b. Tambahkan 1 mL larutan Magnesium Sulfat per liter air
- c. Tambahkan 1 mL larutan Kalium Klorida per liter air
- d. Tambahkan 1 mL larutan FeriK lorida per liter air
- e. Tambahkan 10 mg bubuk inhibitor
- f. Aerasi minimal selama 2 jam
- g. Tambahkan 1 mL larutan benih per liter air

3. Prosedur

- a. MenentukanPengenceran

Untuk menganalisis BOD harus diketahui besarnya pengenceran melalui KMnO_4 sebagai berikut:

$$P = \frac{\text{AngkaKMnO}_4}{3 \text{ atau } 5}$$

Prosedur BOD dengan winkler :

- a) Siapkan 1 buah labu takar 500 mL dan tuangkan sampel sesuai dengan perhitungan pengenceran, tambahkan air pengencer sampai batas labu.
- b) Siapkan 2 buah botol winkler 300 mL dan 2 buah botol winkler 150 mL.
- c) Tuangkan air dalam labu takar tadi ke dalam botol winkler 300 mL dan 150 mL sampai tumpah.
- d) Tuangkan air pengencer ke botol winkler 300 mL dan 150 mL sebagai blanko sampai tumpah.
- e) Masukkan kedua botol winkler 300 mL ke dalam inkubator 20°C selama 5 hari.
- f) Kedua botol winkler 150 mL yang berisi air dianalisis **oksigen terlarutnya (DO)** dengan prosedur sebagai berikut:
 - Tambahkan 1 mL larutan ManganSulfat
 - Tambahkan 1 mL larutan Pereaksi Oksigen
 - Botol ditutup dengan hati-hati agar tidak ada gelembung udaranya lalu balik-balikkan beberapa kali.
 - Biarkan gumpalan mengendap selama 5-10 menit.
 - Tambahkan 1 mL Asam Sulfat pekat, tutup dan balik-balikkan
 - Tuangkan 100 mL larutan ke dalam erlenmeyer 250 mL
 - Titrasi dengan larutan Natrium Tiosulfat 0,0125 N sampai warna menjadi coklat muda
 - Tambahkan 3-4 tetes indikator amilum dan titrasi dengan Natrium Tiosulfat hingga warna biru hilang

- g) Setelah 5 hari, analisis kedua larutan dalam botol winkler 300 mL dengan analisis oksigen terlarut.
 h) Hitung Oksigen Terlarut dan BOD dengan rumus berikut:

$$OT(mgO_2 / L) = \frac{axNx8000}{100ml}$$

$$BOD_5^{20}(mg / L) = \frac{[(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)] \times (1 - P)}{P}$$

$$P = \frac{mls sampel}{volume hasil pengenceran (500ml)}$$

Dimana:

- X_0 = oksigen terlarut sampel pada t = 0
 X_5 = oksigen terlarut sampel pada t = 5
 B_0 = oksigen terlarut blanko pada t = 0
 B_5 = oksigen terlarut blanko pada t = 5
 P = derajat pengenceran

IV. Analisa COD

1. Alat dan Bahan
 - a. Larutan standart Fero Amonium Sulfat (FAS) 0,1 N
 - b. Larutan kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$)
 - c. Larutan indikator Fenantrolin Fero Sulfat (Feroind)
 - d. Sulfuric Acid
 - e. Tabung KOK atau tabung COD refluks
 - f. Kompor listrik / pemanas
 - g. Rak COD
 - h. Pipet volumetrik 10 ml
 - i. Pipet tetes
 - j. Labu ukur 50 ml
 - k. Tabung erlenmeyer 100 ml
 - l. Buret 25 ml
2. Prosedur Kerja
 - a. Siapkan tabung COD refluks yang sudah terisi 2,5 ml sampel yang sudah diencerkan.
 - b. Ditambahkan 1,5 ml kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$)

- c. Ditambahkan 3,5 ml Sulfuric Acid lalu, tabung ditutup rapat dan dikocok.
- d. Tabung dipanaskan selama ± 2 jam dengan keadaan panas kompor yang minimum, setelah 2 jam kompor listrik dimatikan dan dinginkan tabung.
- e. Setelah dingin, larutan dimasukkan ke Erlenmeyer
- f. Ditambahkan 1 tetes indikator feroin.
- g. Lakukan titrasi dengan FAS 0,1 N hingga warna biru hijau berubah menjadi merah coklat yang tidak hilang selama 1 menit.
- h. Hitung COD sampel dengan rumus :

$$\text{COD (mg O}_2\text{/L)} = \frac{(A-B) \times N \times 8000}{\text{Vol sampel}} \times p$$

Keterangan :

A : mL FAS titrasi blanko

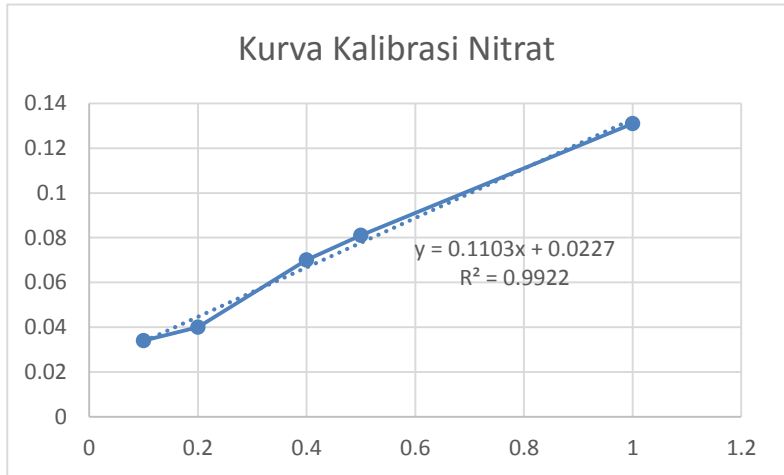
B : mL FAS titrasi sampel

N : normalitas larutan FAS

P : pengenceran

V. Analisa Nitrat (NO_3) dengan Metode Brucin Asetat

1. Alat dan Bahan
 - a. Erlenmeyer 50 mL 2 buah
 - b. Spektrofotometer dan kuvet
 - c. Pipet 10 mL dan 5 mL
 - d. Larutan Brucin asetat
 - e. Larutan Asam sulfat pekat
2. Prosedur Kerja
 - a. Isi 2 buah Erlenmeyer 50 mL masing-masing dengan sampel air dan aquadest (sebagai blanko) sebanyak 2 mL
 - b. Tambahkan 2 mL larutan brucin asetat
 - c. Tambahkan 4 mL larutan asam sulfat pekat
 - d. Aduk dan biarkan 10 menit
 - e. Baca pada spektrofotometer dengan panjang gelombang 400 μm
 - f. Absorbansi dari hasil pembacaan dibaca pada hasil kalibrasi atau kurva kalibrasi



VI. Analisa Tracer dengan Larutan Jejak KMnO_4

- a. Pasang instalasi peralatan (reaktor dengan media random packing) dengan baik dan aman untuk dioperasikan.
- b. Siapkan larutan Kalium Permanganat (KMnO_4) dengan konsentrasi 0,1 N. Larutan Kalium Permanganat berwarna ungu pekat.
- c. Lakukan setting seperti prosedur pengoperasian reaktor.
- d. Buka valve air dari sumber utama (bak pengatur debit), biarkan aliran masuk kedalam reaktor. Kemudian lakukan pengaturan flow aliran.
- e. Mulailah operasi pada debit yang direncanakan yakni 49,5 L/hari. Setelah konstan, lalu suntikkan KMnO_4 0,1 N dengan volume tertentu. Lihat dan amati proses yang terjadi didalam reaktor.
- f. Proses tracer dikatakan selesai apabila warna influen sudah sama seperti yang terdapat dalam effluent reaktor. Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan pengecekan secara berkala menggunakan spektrofotomer. Setelah itu didapatkan td aktual dalam masing – masing reaktor.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN B

Tabel 1. Konsentrasi dan Efisiensi Removal PV Selama Proses Pembiakan Mikroba (*Seeding*) pada Reaktor dengan Tinggi Media 30 cm

HARI KE-	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	PV (mg/l)	REMOVAL (%)
3	Aerasi Terus Menerus	30 cm	417.12	9
6			410.80	10
9			407.64	11
12			404.48	12
15			401.32	12
18			385.52	16

Tabel 2. Konsentrasi dan Efisiensi Removal PV Selama Proses Pembiakan Mikroba (*Seeding*) pada Reaktor dengan Tinggi Media 40 cm

HARI KE-	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	PV (mg/l)	REMOVAL (%)
3	Aerasi Terus Menerus	40 cm	379.20	17
6			376.04	18
9			372.88	19
12			366.56	20
15			366.56	20
18			363.40	21

Tabel 3. Konsentrasi dan Efisiensi Removal PV Selama Proses Pembiakan Mikroba (*Seeding*) pada Reaktor dengan Tinggi Media 50 cm

HARI KE-	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	PV (mg/l)	REMOVAL (%)
3	Aerasi Terus Menerus	50 cm	455.04	1
6			451.88	1
9			417.12	9
12			410.80	10
15			407.64	11
18			395.00	14

Tabel 4. Konsentrasi dan Efisiensi Removal PV Selama Proses Aklimatisasi pada Reaktor dengan Tinggi Media 30 cm

HARI KE-	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	PV (mg/L)	REMOVAL (%)
2	Aerasi Terus Menerus	30 cm	325.48	29
4			316	31
6			312.84	32
8			297.3	35

Tabel 5. Konsentrasi dan Efisiensi Removal PV Selama Proses Aklimatisasi pada Reaktor dengan Tinggi Media 40 cm

HARI KE-	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	PV (mg/L)	REMOVAL (%)
2	Aerasi Terus Menerus	40 cm	357.08	22
4			319.16	30
6			281.68	39
8			253.4	45

Tabel 6. Konsentrasi dan Efisiensi Removal PV Selama Proses Aklimatisasi pada Reaktor dengan Tinggi Media 50 cm

HARI KE-	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	PV (mg/L)	REMOVAL (%)
2	Aerasi Terus Menerus	50 cm	382.36	17
4			302.32	34
6			270.52	41
8			184.2	60

Tabel 7. Konsentrasi dan Efisiensi Removal COD pada Reaktor dengan Tinggi Media 30 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	COD (mg/L)	REMOVAL (%)
3	1	Aerasi 48 Jam	30 cm	203.89	38
6				178.38	46
9				81.08	76
12				71.81	78

Tabel 8. Konsentrasi dan Efisiensi Removal COD pada Reaktor dengan Tinggi Media 40 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	COD (mg/L)	REMOVAL (%)
3	1	Aerasi 48 Jam	40 cm	185.41	44
6				114.86	65
9				73.86	78
12				47.30	86

Tabel 9. Konsentrasi dan Efisiensi Removal COD pada Reaktor dengan Tinggi Media 50 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	COD (mg/L)	REMOVAL (%)
3	1	Aerasi 48 Jam	50 cm	168.65	49
6				94.59	71
9				54.05	84
12				33.78	90

Tabel 10. Konsentrasi dan Efisiensi Removal COD pada Reaktor dengan Tinggi Media 30 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	COD (mg/L)	REMOVAL (%)
2	2	Aerasi Intermitten 12 Jam	30 cm	175.68	57
4				128.38	68
6				114.86	72
8				87.84	78
10				108.11	73
12				81.08	80
14				78.38	81
16				61.49	85
18				60.81	85

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	COD (mg/L)	REMOVAL (%)
20				58.11	86

Tabel 11. Konsentrasi dan Efisiensi Removal COD pada Reaktor dengan Tinggi Media 40 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	COD (mg/L)	REMOVAL (%)
2	2	Aerasi Intermitten 12 Jam	40 cm	168.92	59
4				99.32	76
6				100.68	75
8				85.81	79
10				80.41	80
12				75.00	82
14				61.49	85
16				58.78	86
18				55.27	86
20				54.05	87

Tabel 12. Konsentrasi dan Efisiensi Removal COD pada Reaktor dengan Tinggi Media 50 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	COD (mg/L)	REMOVAL (%)
2	2	Aerasi Intermitten 12 Jam	50 cm	142.57	65
4				134.46	67
6				114.86	72
8				120.27	70
10				69.59	83
12				67.57	83
14				47.30	88
16				45.27	89

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	COD (mg/L)	REMOVAL (%)
18				42.23	90
20				40.54	90

Tabel 13. Konsentrasi dan Efisiensi Removal BOD pada Reaktor dengan Tinggi Media 30 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	BOD ₅ (mg/L)	REMOVAL (%)
5	1	Aerasi 48 Jam	30 cm	173	41
10				151	49
15				56	81

Tabel 14. Konsentrasi dan Efisiensi Removal BOD pada Reaktor dengan Tinggi Media 40 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	BOD ₅ (mg/L)	REMOVAL (%)
5	1	Aerasi 48 Jam	40 cm	152	48
10				64	78
15				41	86

Tabel 15. Konsentrasi dan Efisiensi Removal BOD pada Reaktor dengan Tinggi Media 50 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	BOD ₅ (mg/L)	REMOVAL (%)
5	1	Aerasi 48 Jam	50 cm	144	51
10				37	87
15				22	93

Tabel 16. Konsentrasi dan Efisiensi Removal BOD pada Reaktor dengan Tinggi Media 30 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	BOD ₅ (mg/L)	REMOVAL (%)
3	2	Aerasi Intermitten 12 Jam	30 cm	88	61
6				63	72
9				44	80
12				31	86
15				20	91
18				15	93

Tabel 17. Konsentrasi dan Efisiensi Removal BOD pada Reaktor dengan Tinggi Media 40 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	BOD ₅ (mg/L)	REMOVAL (%)
3	2	Aerasi Intermitten 12 Jam	40 cm	50	78
6				39	83
9				33	85
12				35	84
15				22	90
18				19	92

Tabel 18. Konsentrasi dan Efisiensi Removal BOD pada Reaktor dengan Tinggi Media 50 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	BOD ₅ (mg/L)	REMOVAL (%)
3	2	Aerasi Intermitten 12 Jam	50 cm	30	87
6				27	88
9				22	90
12				19	92
15				15	93

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	BOD ₅ (mg/L)	REMOVAL (%)
18				16	93

Tabel 19. Konsentrasi dan Efisiensi Removal PO₄³⁻ pada Reaktor dengan Tinggi Media 30 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	REMOVAL (%)
2	1	Aerasi 48 Jam	30 cm	4.33	32
4				4.23	34
6				4.12	35
8				3.22	49
10				2.95	54
12				2.62	59
14				2.40	62

Tabel 20. Konsentrasi dan Efisiensi Removal PO₄³⁻ pada Reaktor dengan Tinggi Media 40 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	REMOVAL (%)
2	1	Aerasi 48 Jam	40 cm	4.79	25
4				4.75	25
6				4.62	27
8				4.39	31
10				4.18	34
12				3.87	39
14				1.84	71

Tabel 21. Konsentrasi dan Efisiensi Removal PO_4^{3-} pada Reaktor dengan Tinggi Media 50 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	PO_4^{3-} (mg/L)	REMOVAL (%)
2	1	Aerasi 48 Jam	50 cm	6.03	5
4				3.70	42
6				3.39	47
8				3.19	50
10				2.96	53
12				2.94	54
14				0.78	88

Tabel 22. Konsentrasi dan Efisiensi Removal PO_4^{3-} pada Reaktor dengan Tinggi Media 30 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	PO_4^{3-} (mg/L)	REMOVAL (%)
2	2	Aerasi Intermitten 12 Jam	30 cm	2.21	47
4				2.29	46
6				2.29	45
8				1.93	54
10				2.41	43
12				1.71	59
14				1.58	62
16				1.55	63
18				1.47	65
20				1.49	65

Tabel 23. Konsentrasi dan Efisiensi Removal PO_4^{3-} pada Reaktor dengan Tinggi Media 40 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	PO_4^{3-} (mg/L)	REMOVAL (%)
2	2	Aerasi Intermitten1 2 Jam	40 cm	3.17	24
4				2.07	51
6				3.39	19
8				2.71	36
10				2.66	37
12				2.23	47
14				1.60	62
16				1.23	71
18				1.04	75
20				1	76

Tabel 24. Konsentrasi dan Efisiensi Removal PO_4^{3-} pada Reaktor dengan Tinggi Media 50 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	PO_4^{3-} (mg/L)	REMOVAL (%)
2	2	Aerasi Intermitten 12 Jam	50 cm	3.83	9
4				4.18	1
6				4.01	5
8				3.85	8
10				3.8	9
12				2.89	31
14				2.62	38
16				0.89	79
18				0.95	77
20				0.86	80

Tabel 25. Konsentrasi dan Efisiensi Removal NH_3 pada Reaktor dengan Tinggi Media 30 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	NH_3 (mg/L)	REMOVAL (%)
2	1	Aerasi 48 Jam	30 cm	2.91	13
4				1.35	60
6				1.33	60
8				1.09	67
10				1.00	70
12				0.74	78
14				0.60	82

Tabel 26. Konsentrasi dan Efisiensi Removal NH_3 pada Reaktor dengan Tinggi Media 40 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	NH_3 (mg/L)	REMOVAL (%)
2	1	Aerasi 48 Jam	40 cm	2.81	16
4				2.19	35
6				2.07	38
8				1.56	53
10				1.14	66
12				1.05	69
14				0.84	75

Tabel 27. Konsentrasi dan Efisiensi Removal NH_3 pada Reaktor dengan Tinggi Media 50 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	NH_3 (mg/L)	REMOVAL (%)
2	1	Aerasi 48 Jam	50 cm	2.65	21
4				1.09	67
6				1.02	69

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	NH ₃ (mg/L)	REMOVAL (%)
8				0.88	74
10				0.84	75
12				0.63	81
14				0.09	97

Tabel 28. Konsentrasi dan Efisiensi Removal NH₃ pada Reaktor dengan Tinggi Media 30 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	NH ₃ (mg/L)	REMOVAL (%)
2	2	Aerasi Intermitten 12 Jam	30 cm	1.68	48
4				1.58	51
6				0.75	77
8				0.23	93
10				0.28	91
12				0.14	96
14				0.12	96
16				0.14	96
18				0.14	96
20				0.11	96

Tabel 29. Konsentrasi dan Efisiensi Removal NH₃ pada Reaktor dengan Tinggi Media 40 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	NH ₃ (mg/L)	REMOVAL (%)
2	2	Aerasi Intermitten 12 Jam	40 cm	2.05	37
4				2.58	20
6				0.82	75
8				0.95	71
10				0.88	73

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	NH ₃ (mg/L)	REMOVAL (%)
12				0.16	95
14				0.14	96
16				0.12	96
18				0.09	97
20				0.09	97

Tabel 30. Konsentrasi dan Efisiensi Removal NH₃ pada Reaktor dengan Tinggi Media 50 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	NH ₃ (mg/L)	REMOVAL (%)
2	2	Aerasi Intermitten 12 Jam	50 cm	1.65	49
4				1.28	60
6				1.09	66
8				0.47	86
10				0.37	88
12				0.26	92
14				0.14	96
16				0.12	96
18				0.07	98
20				0.07	98

Tabel 31. Konsentrasi dan Efisiensi Removal NO₃ pada Reaktor dengan Tinggi Media 30 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	NO ₃ (mg/L)	REMOVAL (%)
2	1	Aerasi 48 Jam	30 cm	12.62	9
4				7.19	48
6				5.37	61
8				5.09	63

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	NO ₃ (mg/L)	REMOVAL (%)
10				4.44	68
12				4.00	71
14				2.15	84

Tabel 32. Konsentrasi dan Efisiensi Removal NO₃ pada Reaktor dengan Tinggi Media 40 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	NO ₃ (mg/L)	REMOVAL (%)
2	1	Aerasi 48 Jam	40 cm	9.35	32
4				5.80	58
6				5.40	61
8				3.44	75
10				2.85	79
12				1.94	86
14				1.56	89

Tabel 33. Konsentrasi dan Efisiensi Removal NO₃ pada Reaktor dengan Tinggi Media 50 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	NO ₃ (mg/L)	REMOVAL (%)
2	1	Aerasi 48 Jam	50 cm	10.98	21
4				6.95	50
6				6.45	53
8				1.99	86
10				1.49	89
12				1.19	91
14				0.81	94

Tabel 34. Konsentrasi dan Efisiensi Removal NO_3 pada Reaktor dengan Tinggi Media 30 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	NO_3 (mg/L)	REMOVAL (%)
2	2	Aerasi Intermitten 12 Jam	30 cm	4.71	42
4				3.84	53
6				3.17	61
8				2.65	68
10				2.44	70
12				1.80	78
14				0.97	88
16				0.81	90
18				0.16	98
20				0.13	98

Tabel 35. Konsentrasi dan Efisiensi Removal NO_3 pada Reaktor dengan Tinggi Media 40 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	NO_3 (mg/L)	REMOVAL (%)
2	2	Aerasi Intermitten 12 Jam	40 cm	4.35	47
4				3.63	56
6				3.07	62
8				1.80	78
10				1.87	77
12				1.26	85
14				1.11	86
16				0.71	91
18				0.43	95
20				0.15	98

Tabel 36. Konsentrasi dan Efisiensi Removal NO_3 pada Reaktor dengan Tinggi Media 50 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	NO_3 (mg/L)	REMOVAL (%)
2	2	Aerasi Intermitten 12 Jam	50 cm	3.25	60
4				2.61	68
6				1.82	78
8				1.80	78
10				1.41	83
12				1.20	85
14				0.80	90
16				0.14	98
18				0.29	96
20				0.10	99

Tabel 37. Konsentrasi DO pada Reaktor dengan Tinggi Media 30 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	DO (mg/L)	PENINGKATAN (%)
5	1	Aerasi 48 Jam	30 cm	4.5	7
10				5.1	21
15				5.5	31

Tabel 38. Konsentrasi DO pada Reaktor dengan Tinggi Media 40 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	DO (mg/L)	PENINGKATAN (%)
5	1	Aerasi 48 Jam	40 cm	5.0	19
10				5.1	21
15				5.5	31

Tabel 39. Konsentrasi DO pada Reaktor dengan Tinggi Media 50 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	DO (mg/L)	PENINGKATAN (%)
5	1	Aerasi 48 Jam	50 cm	4.5	7
10				5	19
15				5.2	24

Tabel 40. Konsentrasi DO pada Reaktor dengan Tinggi Media 30 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	DO (mg/L)	PENINGKATAN (%)
3	2	Aerasi Intermitten 12 Jam	30 cm	4.6	-16
6				5	-9
9				5.5	0
12				5.9	7
15				6	9
18				6	9

Tabel 41. Konsentrasi DO pada Reaktor dengan Tinggi Media 40 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	DO (mg/L)	PENINGKATAN (%)
3	2	Aerasi Intermitten 12 Jam	40 cm	4.6	-16
6				4.8	-13
9				5	-9
12				5.5	0
15				5.8	5
18				6.2	13

Tabel 42. Konsentrasi DO pada Reaktor dengan Tinggi Media 50 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	DO (mg/L)	PENINGKATAN (%)
3	2	Aerasi Intermitten 12 Jam	50 cm	4.7	-15
6				5.1	-7
9				5	-9
12				5.3	-4
15				5.5	0
18				6	9

Tabel 43. Fluktuasi pH pada Reaktor dengan Tinggi Media 30 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	pH
3	1	Aerasi 48 jam	30 cm	8.39
6				8.39
9				8.11
12				8.15

Tabel 44. Fluktuasi pH pada Reaktor dengan Tinggi Media 40 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	pH
3	1	Aerasi 48 jam	40 cm	8.39
6				8.4
9				8.27
12				8.10

Tabel 45. Fluktuasi pH pada Reaktor dengan Tinggi Media 50 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	pH
3	1	Aerasi 48 jam	50 cm	8.39
6				8.39
9				8.15
12				8.18

Tabel 46. Fluktuasi pH pada Reaktor dengan Tinggi Media 30 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	pH
5	2	Aerasi Intermitten 12 jam	30 cm	8.42
10				8.39
15				8.15
20				8.10

Tabel 47. Fluktuasi pH pada Reaktor dengan Tinggi Media 40 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	pH
5	2	Aerasi Intermitten 12 jam	40 cm	8.40
10				8.40
15				8.20
20				8.12

Tabel 48. Fluktuasi pH pada Reaktor dengan Tinggi Media 50 cm

HARI KE-	RUNNING	SISTEM AERASI	TINGGI MEDIA	pH
5	2	Aerasi Intermitten 12 jam	50 cm	8.39
10				8.4
15				8.25
20				8.20

LAMPIRAN C

PERHITUNGAN

▪ Reaktor I (Ketinggian Media 30 cm)

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang} &= 60 \text{ cm} \\
 \text{Lebar} &= 30 \text{ cm} \\
 \text{Tinggi Air} &= 55 \text{ cm} \\
 \text{Td Rencana} &= 48 \text{ jam} \\
 \text{Volume Total} &= p \times l \times t \\
 &= 60 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 55 \text{ cm} \\
 &= 99.000 \text{ cm}^3 \\
 &= 99 \text{ L} \\
 Q \text{ Total} &= \frac{\text{Volume Total}}{Td} = \frac{99}{2} = 49,5 \text{ L/hari}
 \end{aligned}$$

Kompartemen 1 :

$$\begin{aligned}
 \text{a) Dimensi kompartemen :} \quad & \begin{array}{ll} \text{Panjang} &= 15 \text{ cm} \\ \text{Lebar} &= 30 \text{ cm} \\ \text{Tinggi Air} &= 55 \text{ cm} \end{array} \\
 \text{Volume} &= p \times l \times t \\
 &= 15 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 55 \text{ cm} = 24750 \text{ cm}^3 \\
 &= 24,75 \text{ L} \\
 \text{b) Waktu detensi (td) = } & \frac{\text{Volume Kompartemen}}{Q} = \frac{24,5 \text{ L}}{49,5 \text{ L/hari}} \\
 \text{Kompartemen 1} &= 0,5 \text{ hari} = 12 \text{ Jam}
 \end{aligned}$$

Kompartemen 2 :

$$\begin{aligned}
 \text{a) Dimensi kompartemen :} \quad & \begin{array}{ll} \text{Panjang} &= 25 \text{ cm} \\ \text{Lebar} &= 30 \text{ cm} \\ \text{Tinggi Media} &= 30 \text{ cm} \\ \text{Porositas Media} &= 0,92 \end{array} \\
 \text{Volume} &= p \times l \times t \\
 &= 25 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} = 22500 \text{ cm}^3 \\
 &= 22,5 \text{ L} \\
 \text{b) Waktu detensi (td) = } & \frac{\text{Volume Kompartemen} \times \text{Porositas}}{Q} \\
 \text{Kompartemen 2} &= \frac{22,5 \text{ L} \times 0,92}{49,5 \text{ L/hari}} \\
 &= 0,42 \text{ hari} \\
 &= 10,5 \text{ Jam}
 \end{aligned}$$

- c) Dimensi kompartemen : Panjang = 25 cm
Tanpa media Lebar = 30 cm
Tinggi Air = 25 cm

$$\begin{aligned}\text{Volume} &= p \times l \times t \\ &= 25 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 25 \text{ cm} = 18750 \text{ cm}^3 \\ &= 18,75 \text{ L}\end{aligned}$$

- d) Waktu detensi (td) = $\frac{\text{Volume Kompartemen}}{Q} = \frac{18,75 \text{ L}}{49,5 \text{ L/hari}}$
Kompartemen 2
tanpa media = 0,38 hari = 9 Jam

Kompartemen 3 :

- a) Dimensi kompartemen : Panjang = 20 cm
Lebar = 30 cm
Tinggi Media = 30 cm
Porositas Media = 0,92

$$\begin{aligned}\text{Volume} &= p \times l \times t \\ &= 20 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} = 18000 \text{ cm}^3 \\ &= 18 \text{ L}\end{aligned}$$

- b) Waktu detensi (td) = $\frac{\text{Volume Kompartemen} \times \text{Porositas}}{Q}$
Kompartemen 3
= $\frac{18 \text{ L} \times 0,92}{49,5 \text{ L/hari}}$
= 0,3 hari
= 8 Jam

- c) Dimensi kompartemen : Panjang = 20 cm
Tanpa media Lebar = 30 cm
Tinggi Air = 25 cm

$$\begin{aligned}\text{Volume} &= p \times l \times t \\ &= 20 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 25 \text{ cm} = 15000 \text{ cm}^3 \\ &= 15 \text{ L}\end{aligned}$$

- d) Waktu detensi (td) = $\frac{\text{Volume Kompartemen}}{Q} = \frac{15 \text{ L}}{49,5 \text{ L/hari}}$
Kompartemen 3
tanpa media = 0,30 hari = 7,27 Jam

- Td Total = 46,77 jam

- Selisih dengan Td rencana = 1,23 jam

- Selisih $Td_{rencana}$ dan Td_{aktual} = 2,56 %

▪ **Reaktor II (Ketinggian Media 40 cm)**

Panjang = 60 cm

Lebar = 30 cm

Tinggi Air = 55 cm

Td Rencana = 48 jam

Volume Total = $p \times l \times t$

$$= 60 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 55 \text{ cm}$$

$$= 99.000 \text{ cm}^3$$

$$= 99 \text{ L}$$

$$Q \text{ Total} = \frac{\text{Volume Total}}{Td} = \frac{99}{2} = 49,5 \text{ L/hari}$$

Kompartemen 1 :

a) Dimensi kompartemen :

Panjang	= 15 cm
Lebar	= 30 cm
Tinggi Air	= 55 cm

Volume = $p \times l \times t$

$$= 15 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 55 \text{ cm} = 24750 \text{ cm}^3$$

$$= 24,75 \text{ L}$$

b) Waktu detensi (td) = $\frac{\text{Volume Kompartemen}}{Q}$

$$= \frac{24,5 \text{ L}}{49,5 \text{ L/hari}}$$

$$= 0,5 \text{ hari} = 12 \text{ Jam}$$

Kompartemen 2 :

a) Dimensi kompartemen :

Panjang	= 25 cm
Lebar	= 30 cm
Tinggi Media	= 40 cm
Porositas Media	= 0,92

Volume = $p \times l \times t$

$$= 25 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 40 \text{ cm} = 30000 \text{ cm}^3$$

$$= 30 \text{ L}$$

b) Waktu detensi (td) = $\frac{\text{Volume Kompartemen} \times \text{Porositas}}{Q}$

$$= \frac{30 \text{ L} \times 0,92}{49,5 \text{ L/hari}}$$

$$= 0,56 \text{ hari}$$

$$= 14 \text{ Jam}$$

- c) Dimensi kompartemen : Panjang = 25 cm
Tanpa media Lebar = 30 cm
Tinggi Air = 15 cm

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= p \times l \times t \\ &= 25 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} = 11250 \text{ cm}^3 \\ &= 11,25 \text{ L} \end{aligned}$$

- d) Waktu detensi (td) = $\frac{\text{Volume Kompartemen}}{Q} = \frac{11,25 \text{ L}}{49,5 \text{ L/hari}}$
Kompartemen 2
tanpa media = 0,23 hari = 5,46 Jam

Kompartemen 3 :

- a) Dimensi kompartemen : Panjang = 20 cm
Lebar = 30 cm
Tinggi Media = 40 cm
Porositas Media = 0,92

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= p \times l \times t \\ &= 20 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 40 \text{ cm} = 24000 \text{ cm}^3 \\ &= 24 \text{ L} \end{aligned}$$

- b) Waktu detensi (td)
Kompartemen 3 = $\frac{\text{Volume Kompartemen} \times \text{Porositas}}{Q}$
= $\frac{24 \text{ L} \times 0,92}{49,5 \text{ L/hari}}$
= 0,45 hari
= 10,7 Jam

- c) Dimensi kompartemen : Panjang = 20 cm
Tanpa media Lebar = 30 cm
Tinggi Air = 15 cm

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= p \times l \times t \\ &= 20 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} = 9000 \text{ cm}^3 \\ &= 9 \text{ L} \end{aligned}$$

- d) Waktu detensi (td) = $\frac{\text{Volume Kompartemen}}{Q} = \frac{9 \text{ L}}{49,5 \text{ L/hari}}$
Kompartemen 3
tanpa media = 0,18 hari = 4,36 Jam

- Td Total = 46,52 jam

- Selisih dengan Td rencana = 1,48 jam
- Selisih $Td_{rencana}$ dan Td_{aktual} = 3,08 %

▪ **Reaktor III (Ketinggian Media 50 cm)**

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang} &= 60 \text{ cm} \\
 \text{Lebar} &= 30 \text{ cm} \\
 \text{Tinggi Air} &= 55 \text{ cm} \\
 \text{Td Rencana} &= 48 \text{ jam} \\
 \text{Volume Total} &= p \times l \times t \\
 &= 60 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 55 \text{ cm} \\
 &= 99.000 \text{ cm}^3 \\
 &= 99 \text{ L} \\
 Q \text{ Total} &= \frac{\text{Volume Total}}{Td} = \frac{99}{2} = 49,5 \text{ L/hari}
 \end{aligned}$$

Kompartemen 1 :

$$\begin{aligned}
 \text{a) Dimensi kompartemen :} \quad & \text{Panjang} = 15 \text{ cm} \\
 & \text{Lebar} = 30 \text{ cm} \\
 & \text{Tinggi Air} = 55 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume} &= p \times l \times t \\
 &= 15 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 55 \text{ cm} = 24750 \text{ cm}^3 \\
 &= 24,75 \text{ L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b) Waktu detensi (td)} &= \frac{\text{Volume Kompartemen}}{Q} \\
 \text{Kompartemen 1} &= \frac{24,5 \text{ L}}{49,5 \text{ L/hari}} \\
 &= 0,5 \text{ hari} = 12 \text{ Jam}
 \end{aligned}$$

Kompartemen 2 :

$$\begin{aligned}
 \text{a) Dimensi kompartemen :} \quad & \text{Panjang} = 25 \text{ cm} \\
 & \text{Lebar} = 30 \text{ cm} \\
 & \text{Tinggi Media} = 50 \text{ cm} \\
 & \text{Porositas Media} = 0,92
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume} &= p \times l \times t \\
 &= 25 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} = 37500 \text{ cm}^3 \\
 &= 37,5 \text{ L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b) Waktu detensi (td)} &= \frac{\text{Volume Kompartemen} \times \text{Porositas}}{Q} \\
 \text{Kompartemen 2} &= \frac{37,5 \text{ L} \times 0,92}{49,5 \text{ L/hari}} \\
 &= 0,7 \text{ hari}
 \end{aligned}$$

$$= 17,5 \text{ Jam}$$

- c) Dimensi kompartemen : Panjang = 25 cm
Tanpa media Lebar = 30 cm
Tinggi Air = 5 cm

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= p \times l \times t \\ &= 25 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} = 3750 \text{ cm}^3 \\ &= 3,75 \text{ L} \end{aligned}$$

- d) Waktu detensi (td) = $\frac{\text{Volume Kompartemen}}{Q} = \frac{3,75 \text{ L}}{49,5 \text{ L/hari}}$
Kompartemen 2
tanpa media = 0,08 hari = 1,82 Jam

Kompartemen 3 :

- a) Dimensi kompartemen : Panjang = 20 cm
Lebar = 30 cm
Tinggi Media = 50 cm
Porositas Media = 0,92

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= p \times l \times t \\ &= 20 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} = 30000 \text{ cm}^3 \\ &= 30 \text{ L} \end{aligned}$$

- b) Waktu detensi (td) = $\frac{\text{Volume Kompartemen} \times \text{Porositas}}{Q}$
Kompartemen 3
= $\frac{30 \text{ L} \times 0,92}{49,5 \text{ L/hari}}$
= 0,6 hari
= 13,4 Jam

- c) Dimensi kompartemen : Panjang = 20 cm
Tanpa media Lebar = 30 cm
Tinggi Air = 5 cm

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= p \times l \times t \\ &= 20 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} = 3000 \text{ cm}^3 \\ &= 3 \text{ L} \end{aligned}$$

- d) Waktu detensi (td) = $\frac{\text{Volume Kompartemen}}{Q} = \frac{3 \text{ L}}{49,5 \text{ L/hari}}$
Kompartemen 3
tanpa media = 0,06 hari = 1,46 Jam

- Td Total = 46,18 jam
- Selisih dengan Td rencana = 1,82 jam
- Selisih $T_{d\text{rencana}}$ dan $T_{d\text{aktual}}$ = 3,68 %

- Q/A : $\frac{Q}{A \text{ surface}}$
 : $\frac{0,0495 \text{ m}^3/\text{hari}}{0,18 \text{ m}^2}$
 : $0.275 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$
- OLR R1 30cm : $\frac{Q \times c}{\text{Volume Media}_1}$
 : $\frac{Q \times \text{Konsentrasi Influen Running 1}}{\text{Vol}_T \times (1 - \text{Porositas})}$
 : $\frac{49,5 \text{ L/hari} \times 0,331 \text{ kg/m}^3}{40,5 \text{ L} \times (1-0,92)}$
 : $\frac{16,38}{3,24}$
 : $5,06 \text{ kg COD/m}^3.\text{hari}$
- OLR R1 40cm : $\frac{Q \times c}{\text{Volume Media}_2}$
 : $\frac{Q \times \text{Konsentrasi Influen Running 1}}{\text{Vol}_T \times (1 - \text{Porositas})}$
 : $\frac{49,5 \text{ L/hari} \times 0,331 \text{ kg/m}^3}{54 \text{ L} \times (1-0,92)}$
 : $\frac{16,38}{4,32}$
 : $3,79 \text{ kg COD/m}^3.\text{hari}$
- OLR R1 50cm : $\frac{Q \times c}{\text{Volume Media}_3}$
 : $\frac{Q \times \text{Konsentrasi Influen Running 1}}{\text{Vol}_T \times (1 - \text{Porositas})}$
 : $\frac{49,5 \text{ L/hari} \times 0,331 \text{ kg/m}^3}{67,5 \text{ L} \times (1-0,92)}$
 : $\frac{16,38}{5,4}$
 : $3,03 \text{ kg COD/m}^3.\text{hari}$
- OLR R2 30cm : $\frac{Q \times c}{\text{Volume Media}_1}$
 : $\frac{Q \times \text{Konsentrasi Influen Running 2}}{\text{Vol}_T \times (1 - \text{Porositas})}$
 : $\frac{49,5 \text{ L/hari} \times 0,408 \text{ kg/m}^3}{}$

$$40.5 \text{ L} \times (1-0.92)$$

$$: \frac{20,196}{3,24}$$

$$: 6,23 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{hari}$$

- OLR R2 40cm

$$: \frac{Q \times c}{\text{Volume Media}_2}$$

$$: \frac{Q \times \text{Konsentrasi Influen Running 2}}{\text{Vol}_T \times (1 - \text{Porositas})}$$

$$: \frac{49,5 \text{ L/hari} \times 0,408 \text{ kg/m}^3}{54 \text{ L} \times (1-0.92)}$$

$$: \frac{20,196}{4,32}$$

$$: 4,68 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{hari}$$

- OLR R2 50cm

$$: \frac{Q \times c}{\text{Volume Media}_3}$$

$$: \frac{Q \times \text{Konsentrasi Influen Running 2}}{\text{Vol}_T \times (1 - \text{Porositas})}$$

$$: \frac{49,5 \text{ L/hari} \times 0,408 \text{ kg/m}^3}{67,5 \text{ L} \times (1-0.92)}$$

$$: \frac{20,196}{5,4}$$

$$: 3,74 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{hari}$$

- Perhitungan Debit Kebutuhan Aerator

$$\text{BOD}_{\text{needed}} = \frac{Q (S_o - S_e)}{1000 \times f} = \frac{49,5 \frac{\text{L}}{\text{hari}} (294 - 22) \text{ mg/L}}{1000 \times 0,68}$$

$$= 19,8 \times 10^{-3} \text{ Kg/hari}$$

$$\text{Px} = \frac{Y \cdot Q (S_o - S_e)}{1000 \times (1 + K_d \times \theta_c)}$$

$$= \frac{0,6 \times 49,5 \frac{\text{L}}{\text{hari}} (294 - 22) \text{ mg/L}}{1000 \times (1 + (0,06 \times 15))}$$

$$= 4,25 \times 10^{-3} \text{ Kg/hari}$$

$$\text{O}_2 \text{ demand} = \frac{Q (S_o - S_e)}{1000 \times f} - 1,42 (\text{Px})$$

$$= 19,8 \times 10^{-3} \text{ Kg/hari} - 1,42 (4,25 \times 10^{-3} \text{ Kg/hari})$$

$$= 15,55 \times 10^{-3} \text{ Kg/hari}$$

$$\rho_{\text{udara}} = \gamma_{\text{udara}} = 1,201 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{O}_2 = 23,2\% \text{ Vudara}$$

$$V_{\text{udara}} = \frac{0,01555 \text{ Kg/hari}}{1,201 \times 0,232} = 0,0558 \text{ m}^3/\text{hari}$$

O₂ transfer didalam udara = 8%

$$V_{\text{udara aktual}} = \frac{0,0558 \text{ m}^3/\text{hari}}{0,08} = 0,698 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Untuk faktor keamanan dan kebutuhan nitrifikasi = x2

$$\begin{aligned} \text{O}_2 \text{ dibutuhkan} &= 2 \times 0,698 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1/1440 \text{ menit} \times 1000 \\ &= 0,97 \text{ L/menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{O}_2 \text{ aktual untuk 3 reaktor} &= 3 \times 0,97 \text{ /menit} \\ &= 2,91 \text{ L/menit} \approx 4 \text{ L/menit} \\ &\text{(Kebutuhan O}_2 \text{ minimum untuk 3 buah} \\ &\text{reaktor biofilter. Spesifikasi minimum} \\ &\text{yang memenuhi menyesuaikan dengan} \\ &\text{aerator yang dijual dipasaran)} \end{aligned}$$

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN D



Gambar 1. Air Limbah Budidaya Tambak Udang Setelah Mengalami Pengolahan di Biofilter

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIOGRAFI PENULIS



Penulis adalah putri Surabaya yang lahir pada tanggal 25 Januari 1993. Penulis mengenyam pendidikan pada tahun 1999–2005 di SD Muhammadiyah GKB Gresik. Lalu dilanjutkan di SMP Muhammadiyah 12 GKB Gresik pada tahun 2005–2008, sedangkan pendidikan tingkat atas dilalui di SMA Negeri 1 Gresik dari tahun 2008–2011. Pendidikan terakhir penulis saat ini di S1 Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITS, Surabaya, pada tahun 2011 dan terdaftar dengan NRP 3311 100 016

lewat jalur SNMPTN Undangan.

Selama perkuliahan, penulis aktif dalam organisasi di berbagai kegiatan HMTL, FTSP, ITS, maupun Luar ITS. Penulis menjadi anggota HMTL sejak tahun 2012 di Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa, Bakor Pemandu Gentel FTSP ITS, Indonesian Youth Water, serta Ikatan Mahasiswa Teknik Lingkungan Indonesia (IMTLI) saat tahun kedua dan menjadi anggota di komunitas Enviromental Engineering English Club, Hubungan Luar HMTL FTSP ITS, dan *Steering Comitee* IRITS BEM ITS di tahun ketiga. Penulis mengikuti kerja praktik di PT. Kelola Mina Laut di bagian Waste Water and Water Treatment Plant. Penulis dapat dihubungi melalui email : belliamaharanibastom@gmail.com.

Halaman ini sengaja dikosongkan